

Article, Published Version

**Harten, Hermann**

## **Abdämmung der Eider; Modellversuche im Tidemodell**

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103052>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Harten, Hermann (1970): Abdämmung der Eider; Modellversuche im Tidemodell. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 30. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 51-78.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Dipl.-Ing. H. Harten

## **Abdämmung der Eider; Modellversuche im Tidemodell**

### **Damming of the Eider-River; model investigations on tidal regime**

#### **Zusammenfassung**

Mit diesem Bericht soll das umfangreiche Ergebnismaterial der Modellversuche in übersichtlicher Form zusammengefaßt werden. Nach kurzer Erläuterung der problematischen Verhältnisse in der Eider, hervorgerufen durch den Bau der Abdämmung Nordfeld, Beschreibung des Modells und der Maßstabsbedingungen, werden die Lösungsmöglichkeiten und wesentlichen Versuchsergebnisse beschrieben und anhand von Diagrammen und Tabellen anschaulich gemacht. Die Ausführungslösung "Abdämmung in der Linie Hundeknöll – Vollerwiek" wurde gesondert herausgearbeitet.

#### **Summary**

This summarizing report includes the ample data of results being obtained during the model trials in a distinct outline. After a short explanation of the problematic conditions in the Eider, caused by the construction of the damming Nordfeld, a description of the model and of the scale conditions, there are described the possibilities regarding solutions and the essential trial results which are distinctly shown by diagrams and tables. The constructional solution the damming in the line Hundeknöll – Vollerwiek has been elaborated separately.

## INHALT

	Seite
<b>1. Vorbemerkung</b>	<b>53</b>
<b>2. Das Tidemodell der Eider</b>	<b>54</b>
<b>3. Modellversuche zur Ermittlung einer zweckmäßiger Lösung</b>	<b>56</b>
3.1 Beseitigung der Abdämmung Nordfeld	56
3.2 Neue Abdämmung in der Tideeider unterhalb Nordfeld	57
3.3 Flutpolder und Vergrößerung des Oberwasserabflusses	58
3.4 Sperrwerk mit der Möglichkeit zur Beeinflussung der Tidebewegung	59
3.41 Allgemeines	59
3.42 Sperrwerk T2	59
3.43 Sperrwerk T3	60
3.44 Sperrwerk T4	62
<b>4. Modellversuche für die gewählte Ausführungslösung</b>	<b>64</b>
<b>5. Abschließende Betrachtung</b>	<b>75</b>
<b>6. Schrifttum</b>	<b>76</b>

## 1. Vorbemerkung

Die 1936 vorwiegend zum Schutze der Eideniederung gegen Sturmflut erbaute Abdämmung der Eider bei Nordfeld entzog eine 78 km lange Flußstrecke der Tidebewegung. Dadurch kam es unterhalb der Abdämmung zu einer Umformung der Tidewelle, wobei die Ebbeströmung im Verhältnis zur Flutströmung geschwächt wurde. Der Ebbestrom war nicht mehr in der Lage, den von der Flut hereingetransportierten Sand wieder auszuräumen. Innerhalb weniger Jahre versandete der Flußabschnitt Nordfeld – Tönning so, daß Vorflut und Schifffahrt stark beeinträchtigt wurden. Baggerungen erwiesen sich als zwecklos, weil immer neue Sandmassen herantransportiert wurden. Auch durch den Bau von Buhnen ließ sich keine Verbesserung der Verhältnisse erzielen [19]. Als einziges Mittel, eine beschränkte Ausräumung der Flußstrecke zwischen Nordfeld und Reimersbude zu erhalten, ergab sich ein künstlicher Spülbetrieb mit dem Siel Nordfeld, der in seiner Tendenz

erfolgreich war. Aber bereits unterhalb von Reimersbude konnte die Versandung nicht mehr beeinflußt werden. Der künstliche Spülbetrieb ist in Modellversuchen bei der damaligen Außenstelle Seebau der BAW in Wedel untersucht worden [1]. Über die gewässerkundlichen Untersuchungen und den Spülbetrieb wird in [19] ausführlich berichtet. Da der Spülbetrieb keine Möglichkeit bot, die ungünstigen Vorflutverhältnisse grundlegend zu verbessern, wurde Ende 1958 beim Wasser- und Schiffsamt Tönning eine Vorarbeitenstelle gebildet, die die Aufgabe hatte, eine dauerhafte Lösung des Eiderproblems zu erarbeiten. Die Vorarbeitenstelle sollte u.a. alle bisher irgendwie genannten technischen Lösungsvorschläge untersuchen und Vergleichsentwürfe aufstellen. Es sollten hauptsächlich folgende Entwürfe bzw. Entwurfsgruppen bearbeitet werden [20]:

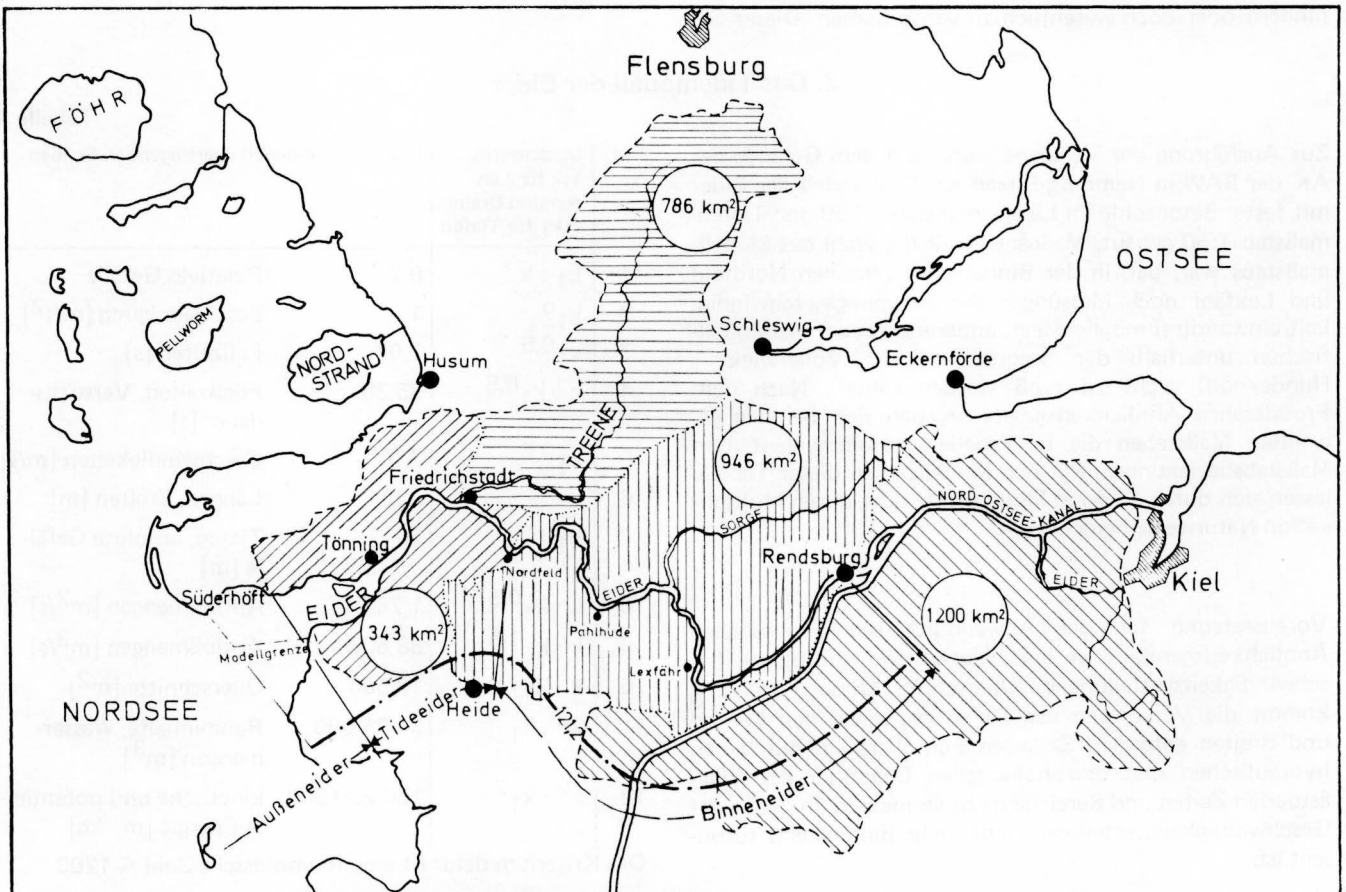


Abb. 1: Übersichtsplan (Einzugsgebiete)



1. Entwässerung des Eidgebietes durch Schöpfwerke
2. Umbau der Abdämmung Nordfeld in ein Sturmflut-sperrwerk
3. Bau einer neuen Abdämmung unterhalb von Nordfeld
  - 3.1 Abdämmung mit Sielentwässerung in der Eider
  - 3.2 Abdämmung mit Sielentwässerung in ein anderes Wattstromgebiet
4. Vergrößerung der Oberwassermenge der Eider

Die Bearbeitung der Entwürfe, mit Ausnahme der Entwässerung durch Schöpfwerke, war ohne Modellversuche nicht möglich. Daher wurde schon 1959 von der WSD Kiel und dem WSA Tönning ein Tidemodell der Eider mit fester Betonsohle bei der Außenstelle Küste der BAW in Hamburg-Rissen in Auftrag gegeben. Es war das erste Modell, das auf dem neuen Gelände in Hamburg-Rissen aufgebaut wurde, nachdem die Modellversuchsanlagen der Außenstelle Küste von Wedel nach Rissen verlegt worden waren.

Als seewärtige Grenze des Modells war der Linienzug Süderhöft, Linnenplate, Hundeknöll gewählt worden, stromaufwärts reichte das Modell bis Rendsburg (Abb. 1u.2). Die Modellversuche sind in [2, 3, 5] behandelt. Parallel zu den Modellversuchen für eine Abdämmung in der Tideeider wurden von der AK auch Vergleichstiderechnungen ausgeführt [10, 11].

Aus den Modellversuchen und auf Grund der günstigen Erfahrungen beim Spülbetrieb mit dem Siel Nordfeld und in Verbindung mit weiteren gewässerkundlichen Untersuchungen entstand der Gedanke, durch den Betrieb eines Sperrwerkes die Tidebewegung so zu beeinflussen, daß die Ebbestromgeschwindigkeit gegenüber der Flutstromgeschwindigkeit überwiegt, um dadurch eine weitere Versandung zu verhindern oder doch wesentlich zu verlangsamen. Dieser Ge-

danke wurde in eingehenden Modellversuchen weiter verfolgt [4, 5, 6, 7] und führte schließlich zu der nunmehr in Ausführung begriffenen Abdämmung der Eider in der Linie Hundeknöll – Vollerwiek [16, 20, 22].

Nach der grundsätzlichen Entscheidung über die Abdämmung der Eider in der Linie Hundeknöll – Vollerwiek mußten weitere Modellversuche für die Einzelplanungen ausgeführt werden. Aus bautechnischen Gründen strebte man an, das Siel- und Sperrwerk in einer Bauinsel auf dem Katinger Watt nördlich der tiefen Eiderrinne zu bauen. Modellversuche [8] sollten nachweisen, daß auch bei dieser Lage des Bauwerks ein Erfolg des Spülbetriebes zu erwarten ist. Weitere Modellversuche in Hamburg-Rissen [9] befaßten sich mit den Einzelheiten des Bauablaufs. Außerdem wurden die Anordnung und Form von Leitwerken untersucht [8],[9].

Zur Einzelplanung des Bauwerks wurden von der Abtlg. Wasserbau in Karlsruhe Versuche in einem Versuchsgerinne und in einem Sondermodell mit beweglicher Sohle ausgeführt. Die Randwerte für diese Modellversuche lieferte das Tidemodell in Hamburg-Rissen. Außerdem wurden im Waterloopkundig Laboratorium Delft in einem Windwellenkanal Untersuchungen zur Ermittlung der Wellenbelastung des Siels durchgeführt [12].

Die vorliegende Arbeit soll zusammenfassend über alle bei der Außenstelle Küste von 1960 bis 1967 ausgeführten Modellversuche berichten. Die zeitliche Reihenfolge der Versuche ist zum Teil in der Ausführung aus versuchstechnischen Gründen, Umbauten des Modells sollten vermieden werden, anders gewesen, als die Reihenfolge, in der die Versuche hier geschildert werden.

## 2. Das Tidemodell der Eider

Zur Ausführung der Versuche wurde auf dem Gelände der AK der BAW in Hamburg-Rissen ein Tidemodell der Eider mit fester Betonsohle im Längenmaßstab 1:250 und Tiefenmaßstab 1:50 gebaut. Maßgebend für die Wahl des Modellmaßstabs war, daß in der Binneneider zwischen Nordfeld und Lefähr noch Messungen der Strömungsgeschwindigkeit einwandfrei möglich sein, andererseits aber die Modellflächen unterhalb der Seegrenze (Linie Vollerwiek – Hundeknöll) nicht zu groß werden sollten. Nach dem Froudeschen Ähnlichkeitsgesetz ergeben sich bei den gewählten Maßstäben die in Tabelle 1 zusammengestellten Maßstabsbeziehungen. Mit den Modellzahlen dieser Tabelle lassen sich durch Division Modellwerte oder durch Multiplikation Naturwerte berechnen.

Voraussetzung für die Anwendung des Froudeschen Ähnlichkeitsgesetzes ist eine hinreichend turbulente Geschwindigkeitsverteilung im Querschnitt. Dieser Forderung kommt die Verzerrung der Tiefen gegenüber den Längen und Breiten entgegen. Es lassen sich allerdings durch den hydraulischen und morphologischen Charakter der Tideästuarien Zeiten und Bereiche nicht vermeiden, in denen die Geschwindigkeitsverteilung nicht mehr hinreichend turbulent ist.

Tabelle 1

Lfd. Nr.	Modellzahlen 1:k für Längen und Breiten 1:k <sub>1</sub> für Tiefen	Bezeichnung der zu übertragenden Größen	
1	k <sub>1</sub> : k	0,2	Relatives Gefälle
2	k <sub>1</sub> <sup>0</sup>	1	Beschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]
3	k <sub>1</sub> <sup>0,5</sup>	7,07	Fallzeiten [s]
4	k : k <sub>1</sub> <sup>0,5</sup>	35,36	Fließzeiten, Versuchsdauer [s]
5	k <sub>1</sub> <sup>0,5</sup>	7,07	Geschwindigkeiten [m/s]
6	k	250	Längen, Breiten [m]
7	k <sub>1</sub>	50	Tiefen, absolute Gefälle [m]
8	k · k <sub>1</sub> <sup>0,5</sup>	1 768	Abflußmengen [m <sup>2</sup> /s]
9	k · k <sub>1</sub> <sup>1,5</sup>	88 500	Abflußmengen [m <sup>3</sup> /s]
10	k · k <sub>1</sub>	12 500	Querschnitte [m <sup>2</sup> ]
11	k <sup>2</sup> · k <sub>1</sub>	3 125 000	Rauminhalte, Wassermengen [m <sup>3</sup> ]
12	k <sup>2</sup> · k <sub>1</sub> <sup>2</sup>	156 250 000	kinetische und potentielle Energie [m · kg]

Das Kriterium dafür ist eine Reynoldssche Zahl  $\leq 1200$ .

$$Re = \frac{u_m \cdot h}{\nu}$$

$u_m$  = mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]  
 $h$  = Wassertiefe [m] (im Fahrwasser bei Hundeknöll  
 $h_{\text{Natur}} = 5,0 \text{ [m]}$   $h_{\text{Modell}} = 0,10 \text{ [m]}$ )  
 $\nu$  = kinematische Zähigkeit ( $\nu_{15^\circ\text{C}} = 1,15 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s]}$ )  
 $u_m = \frac{Re \cdot \nu}{h} = \frac{1200 \cdot 1,15 \cdot 10^{-6}}{0,10} = 0,014 \text{ [m/s]}$

d.h. bis herunter zu einer Geschwindigkeit von 1,4 cm/s ist der Abfluß in den maßgebenden Bereichen turbulent.

Da anfangs nicht damit gerechnet wurde, daß Baumaßnahmen unterhalb der Linie Vollerwiek – Hundeknöll zu untersuchen sein würden, wurde die untere Modellgrenze nach Süderhöft bei km 121,2 gelegt. Die obere Grenze liegt bei Rendsburg (km 0), um auch Messungen oberhalb der Abdämmung Nordfeld machen zu können. Das Modell hat damit eine Länge von 484,8 m. Abb. 1 zeigt den gesamten im Modell nachgebildeten Abschnitt mit den Einzugsgebieten.

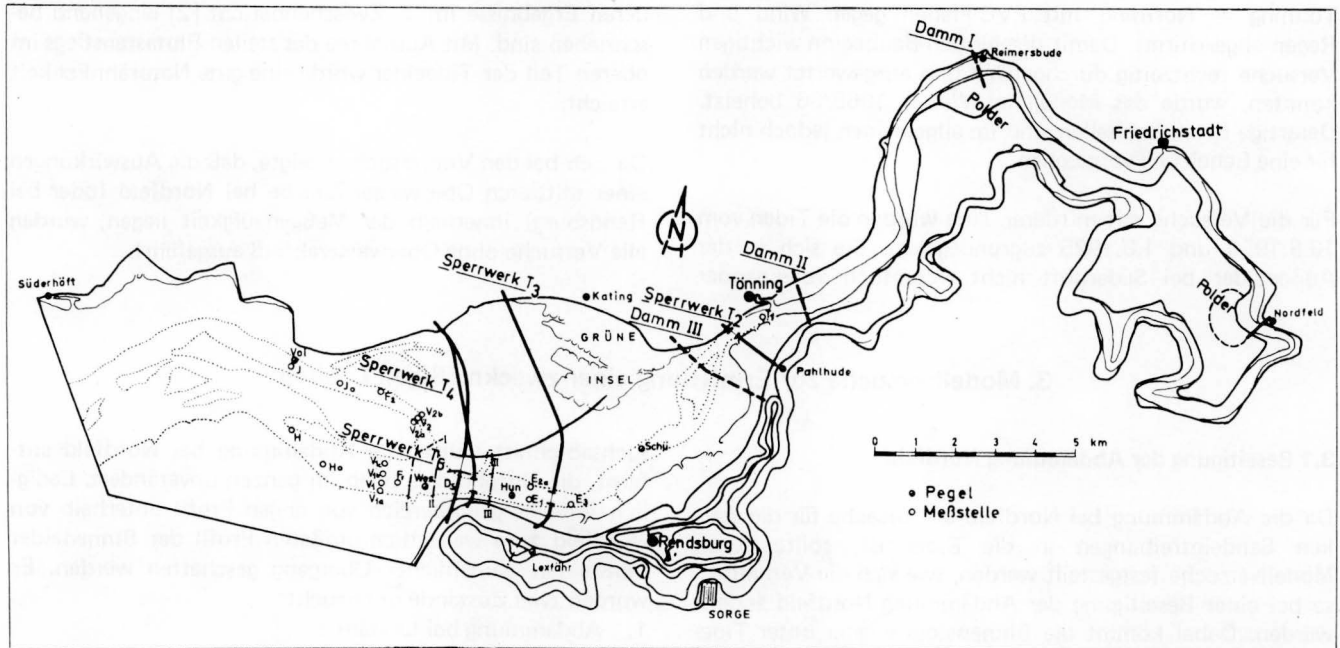


Abb. 2: Grundrißplan des Modells (Meßpunkte)

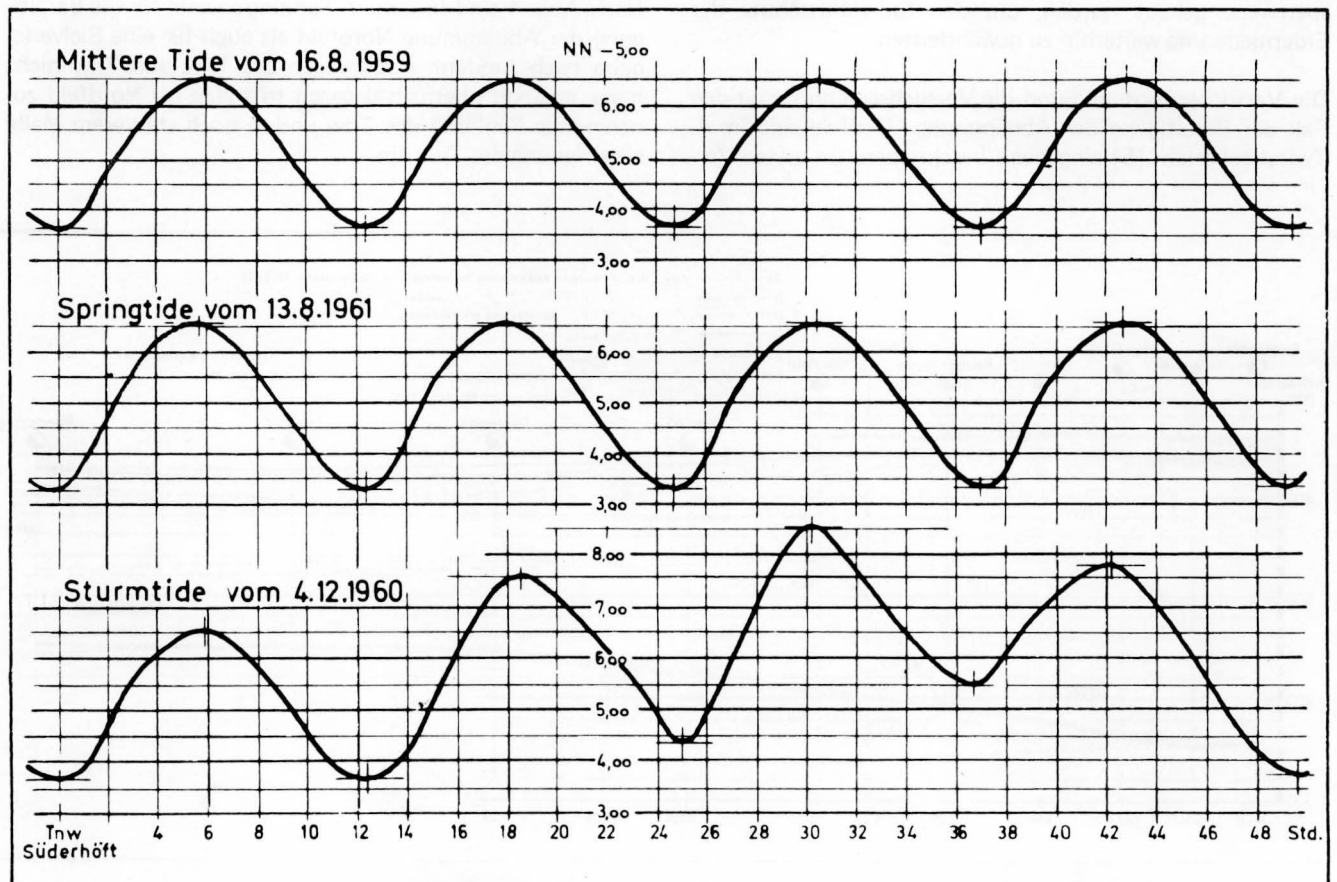


Abb. 3: Charakteristische Tidekurven bei Süderhöft, hydrologische Kennwerte

Die Tideeider bis Nordfeld ist ohne Spiegelung aufgebaut. Oberhalb von Nordfeld mußten jedoch aus räumlichen Gründen im Modell einige Spiegelungen vorgenommen werden. Die Strecke Lexfähr – Rendsburg wurde weitgehend stilisiert und dient nur als Flutraum. Abb. 2 enthält einen Übersichtsplan des Eidermodells. Dem Modellbau wurden Peilungen von 1959/60 zugrundegelegt.

Das Modell wurde später im Abschnitt Süderhöft – Tönning mit einer Stahlleichtbauhalle und im Abschnitt Tönning – Nordfeld mit PVC-Planen gegen Wind und Regen abgeschirmt. Damit die für den Baubeginn wichtigen Versuche rechtzeitig durchgeführt und ausgewertet werden konnten, wurde das Modell im Winter 1965/66 beheizt. Derartige Leichtbauhallen sind im allgemeinen jedoch nicht für eine Beheizung vorgesehen.

Für die Versuche mit mittlerer Tide wurden die Tiden vom 16.8.1959 und 1.8.1925 zugrundegelegt, die sich in der Außeneider bei Süderhöft nicht wesentlich voneinander

unterscheiden. Für Springtide-Versuche wurde die Springtide vom 13.8.1960 ausgewählt und für Sturmflutuntersuchungen die Wasserstandswerte der Sturmflut vom 4.12.1960 benutzt.

Die hydrologischen Kennwerte für den Steuerpegel des Modells sind auf Abb. 3 zusammengestellt.

Die Herstellung der Naturähnlichkeit erforderte bei einem Modell derartiger Abmessungen sorgfältige Vorversuche, deren Ergebnisse im 1. Zwischenbericht [2] eingehend beschrieben sind. Mit Ausnahme des steilen Flutastanstiegs im oberen Teil der Tideeider wurde eine gute Naturähnlichkeit erreicht.

Da sich bei den Vorversuchen zeigte, daß die Auswirkungen einer mittleren Oberwasser-Zugabe bei Nordfeld (oder bei Rendsburg) innerhalb der Meßgenauigkeit liegen, wurden alle Versuche ohne Oberwasserabfluß ausgeführt.

### 3. Modellversuche zur Ermittlung einer zweckmäßigen Lösung

#### 3.1 Beseitigung der Abdämmung Nordfeld

Da die Abdämmung bei Nordfeld die Ursache für die starken Sandeintreibungen in die Eider ist, sollte durch Modellversuche festgestellt werden, wie sich die Verhältnisse bei einer Beseitigung der Abdämmung Nordfeld ändern würden. Dabei kommt die Binneneider wieder unter Tideeinfluß. Bei einer solchen Baumaßnahme muß anstelle der Abdämmung Nordfeld oder weiter unterhalb ein Sturmflutsperrwerk gebaut werden, um den Sturmflutschutz der Eiderniederung weiterhin zu gewährleisten.

Die Versuchsanordnung und die Versuchsergebnisse für den Fall der Beseitigung der Abdämmung Nordfeld sind im 4. Zwischenbericht [5] eingehend beschrieben. Im ersten Ver-

suchsabschnitt wurde die Abdämmung bei Nordfeld entfernt, die Morphologie blieb im ganzen unverändert. Lediglich im Übergangsbereich von engen Profil unterhalb von Nordfeld zum wesentlich größeren Profil der Binneneider mußte ein allmählicher Übergang geschaffen werden. Es wurden zwei Zustände untersucht:

1. Abdämmung bei Lexfähr
2. Tide durchlaufend bis Rendsburg

Nach Abb. 4 sind unterhalb Tönning sowohl für die Beseitigung der Abdämmung Nordfeld als auch für eine Sielverlegung nach Lexfähr Änderungen des Tnw und Thw nicht mehr meßbar; oberhalb dagegen tritt eine bis Nordfeld zunehmende Senkung des Thw und in noch stärkerem Maße eine Hebung des Tnw ein.

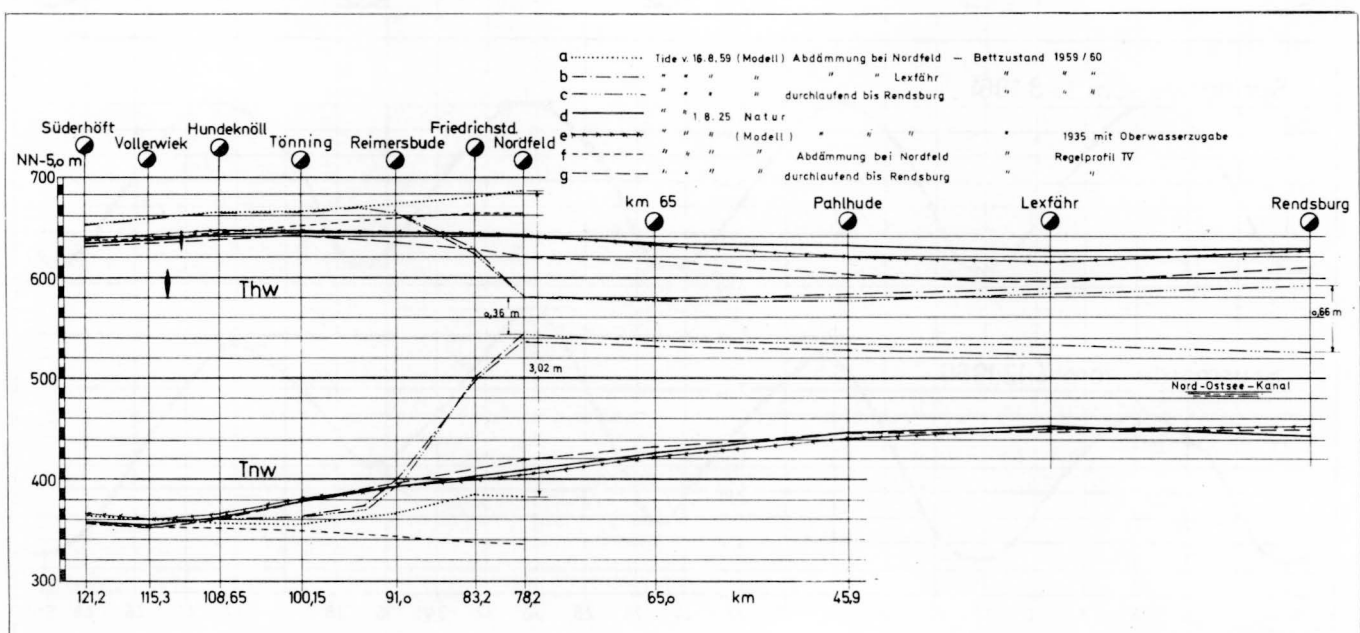


Abb. 4: Tnw- und Thw-Linien bei verschiedenen Bettzuständen der Eider

Die große Änderung der Scheitelwasserstände ist auf die versandeten, viel zu kleinen Durchflußquerschnitte unterhalb Nordfeld zurückzuführen, deren Durchflußleistung nicht groß genug ist, um den Flutraum der jetzigen Binneneider zu füllen. Der Tidehub verringert sich im Zustand 2 bei Nordfeld von 3,02 m auf 0,36 m und nimmt bis Rendsburg wieder auf 0,66 m zu.

Bei der derzeitigen Morphologie des Stromes werden die Verhältnisse nach Beseitigung der Abdämmung Nordfeld derart verschlechtert, daß eine natürliche Entwässerung der oberhalb der Treenemündung liegenden Einzugsgebiete nicht mehr möglich ist. Außerdem wird der Ebbestrom durch Entfernung des Sielbauwerkes nicht verstärkt, d.h. es ist nicht damit zu rechnen, daß die versandete Tideeider sich ohne Baggerhilfe selbst ausräumt und der Bettzustand 1935 wieder erreicht wird.

Auf Grund einer Tiderechnung [11] und entsprechenden Modellversuchen wurde ein geeigneter Querschnitt (Regelquerschnitt IV) gefunden, bei dem nach den ermittelten hydraulischen Kennwerten eine Versandung nicht wahrscheinlich erschien (Abb. 5).

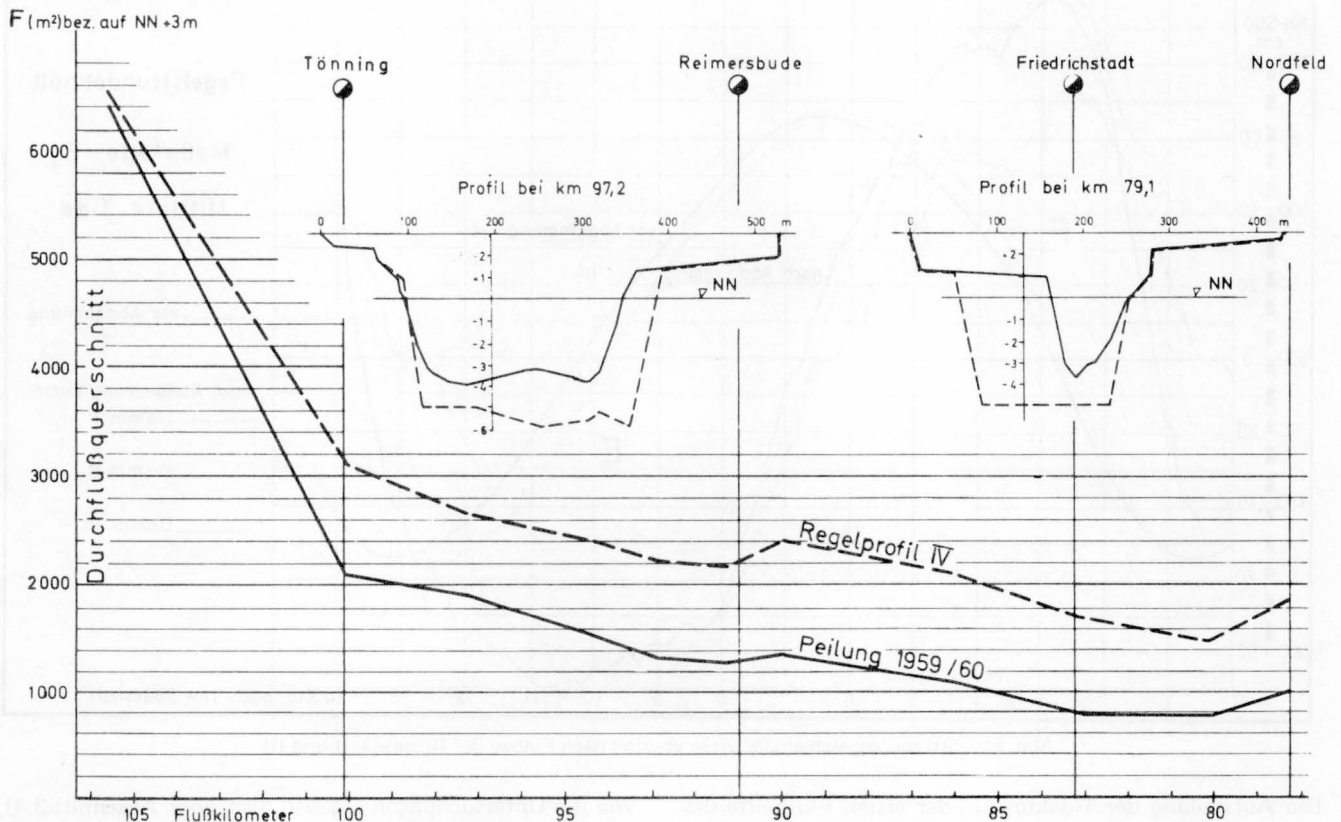


Abb. 5: Querschnittsflächen der Eider; Peilung 1959/60, Regelprofil IV

Zur Herstellung dieses Querschnittes müßten zwischen Tönning und Nordfeld ca.  $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  Sand gebaggert werden. Die Scheitelwasserstände, die sich bei diesem Regelquerschnitt ergeben, sind in Abb. 4.(g) aufgetragen. Man erkennt, daß ein gutes Durchschwingen der Tide, sowie eine hinreichend genaue Übereinstimmung mit den als ausgeglichen anzusehenden Verhältnissen von 1925 (Abb. 4,d) gegeben ist. Die Beseitigung der Abdämmung bei Nordfeld ist daher nur sinnvoll, wenn bereits vorher durch Baggerungen ein genügend leistungsfähiger Querschnitt hergestellt wird. Dabei ist zu beachten, daß während der Baggerungen wei-

tere Sandmassen eingetrieben werden, so daß eine größere Menge als  $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  gebaggert werden muß.

### 3.2 Neue Abdämmung in der Tideeider unterhalb Nordfeld

Bereits 1919 wurde vom Kulturamt Schleswig ein Plan zur Abdämmung der Eider oberhalb des Tönninger Hafens vorgelegt [21]. In einem Gutachten [17] nahm der damalige Vorstand des Wasserbauamtes Tönning, Mannsdorf, kritisch dazu Stellung. Um zu einer wirtschaftlich und hydraulisch vorteilhaften Lösung zu kommen, empfahl er u.a. die Abdämmung in der Linie Vollerwiek – Hundeknöll, als auch die Erhaltung der erforderlichen Vorflut nach der Abdämmung durch ständigen Spülbetrieb zu prüfen.

In diesem Abschnitt sollen die Auswirkungen einer Vollabdämmung unterhalb Nordfeld systematisch untersucht werden, um die Erfolgsaussichten einer Verlegung der Abdämmung von Nordfeld stromabwärts festzustellen.

Es wurden Vollabdämmungen an drei Stellen unterhalb von Nordfeld geprüft (Abb. 2).

- Damm I bei km 90 (Reimersbude)
- Damm II bei km 99 (oberhalb Tönning)
- Damm III bei km 102 (Olvesum)

Dabei wurden die Dämme I und II nur aus systematischen Gründen untersucht. Lediglich der Damm III wurde eingehend als mögliche Baumaßnahme geprüft [2].

Eine Vollabdämmung bei Hundeknöll konnte nicht mehr untersucht werden, weil bereits für Damm III mit mittlerer Tide und noch mehr bei Sturmtide der Einfluß auf die Was-



serstände bis zur unteren Modellgrenze (Steuerklappe) reicht, wo die Zwangssteuerung der Tide diese Einflüsse kompensiert.

Untersuchungen zu Vollabdämmungen bei Hundeknöll und noch weiter unterhalb, in der Außeneider, die sich in einem späteren Stadium der Untersuchungen der Vorarbeitenstelle als notwendig erwiesen, wurden in einem Tidemodell im Franzius Institut in Hannover ausgeführt [21, 14]. Für dieses Modell wurden die Randwerte an der oberen Modellgrenze, die etwas oberhalb Hundeknöll lag, aus dem Risse-ner Modell zur Verfügung gestellt.

Die Wasserstands- und Geschwindigkeitsaufzeichnungen deuten darauf hin, daß sich nach einer Vollabdämmung Damm I bis III der jetzt vorhandene Zustand, jeweils unterhalb der Abdämmung noch weiter verschlechtern wird (Abb. 6).

Man kann daraus folgern, daß mit ähnlich nachteiligen Auswirkungen wie bei der Abdämmung Nordfeld gerechnet werden muß. Lediglich der kritische Bereich wird stromabwärts verschoben. Die Modellergebnisse wurden durch eine Tidenachrechnung [10] bestätigt.

### 3.3 Flutpolder und Vergrößerung des Oberwasserabflusses

Das Sielbauwerk Nordfeld bleibt bei dieser Lösung erhalten. Unmittelbar unterhalb der Abdämmung oder am Preiler Koog (Abb. 2) soll ein Polder bei Flut gefüllt werden und bei ablaufendem Wasser den Ebbestrom verstärken.

Der Polder sollte einen möglichst großen Teil der Wassermenge aufnehmen, die vor der Abdämmung den Flutraum bis Rendsburg gefüllt hat ( $11 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  bei mittlerer Tide).

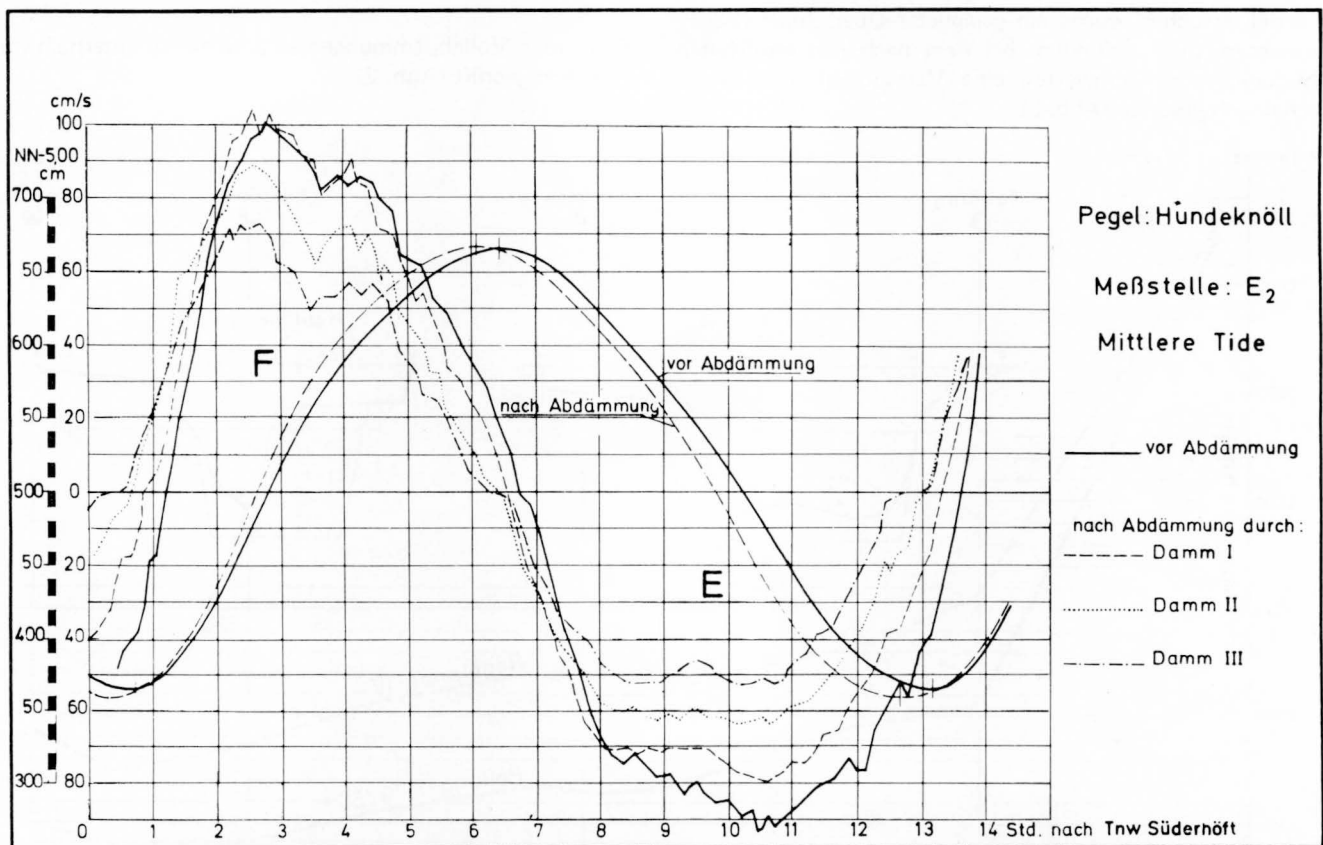


Abb. 6: Strömungsgeschwindigkeiten vor und nach Einbau der Dämme I, II und III

Die Aufsteilung der Tidekurve in der ersten Fluthälfte des Pegels Hundeknöll ist deutlich zu erkennen. Die Änderung des Verhältnisses Ebbe- zum Flutstrom ist der Übersicht wegen für den Meßpunkt E2 tabellarisch dargestellt (Tab. 2).

Tabelle 2

	$v_{fmax}$	$v_{emax}$	$K_{max}$	$v_{fM}$	$v_{eM}$	$k_M$
vor Abdämmung	100	94	0,94	64	63	0,99
Damm I	104	80	0,77	63	55	0,87
Damm II	89	64	0,72	53	38	0,72
Damm III	73	53	0,73	44	28	0,64

Maße in cm/s

Wie die Untersuchungen ergaben, (vgl. auch Abschnitt 3.1), reichen die Durchflußquerschnitte des versandeten Abschnitts zwischen Tönning und Nordfeld aber nicht aus, um einen Polder erforderlicher Größe zu füllen.

In dem Arbeitsplan für Vorarbeiten zur Lösung des Eiderproblems war auch die Möglichkeit einer Vergrößerung des Oberwasserzuflusses durch Einspeisung aus dem Nord-Ostsee-Kanal vorgesehen. Es sollte untersucht werden, ob durch den verstärkten Oberwasserabfluß die Räumkraft des Ebbestromes im Abschnitt Nordfeld – Tönning ausreichend verstärkt werden kann. Auf diese Versuche wurde jedoch verzichtet, da bei Beseitigung der Abdämmung das Tnw im Abschnitt Nordfeld bis Lexfähre bereits über dem mittleren Wasserspiegel des Nord-Ostsee-Kanals liegt (Abb. 4), und so

eine Einspeisung mit natürlichem Gefälle aus dem Kanal nicht mehr möglich ist. Eine künstliche Einspeisung durch leistungsfähige Pumpen würde zwar technisch möglich sein, die dafür notwendigen Betriebskosten würden aber bei den benötigten Wassermengen außerordentlich hoch sein. Außerdem wäre jede Einspeisung aus dem Nörd-Ostsee-Kanal sowohl für den Kanal (Schifffahrt) als auch für die Eider\*(Versalzung) recht problematisch.

### 3.4 Sperrwerk mit der Möglichkeit zur Beeinflussung der Tidebewegung

#### 3.41 Allgemeines

Ein Sturmflutsperrwerk schützt ein Tideregime und sein Hinterland gegen anormale Außenwasserstände. Die während des größten Teils eines Jahres vorhandene normale Tidebewegung wird dabei nicht beeinflusst. Die Durchflußöffnungen haben bewegliche Verschlüsselemente aus Stahl (Schützen, Klappen, Segmente u.ä.), die rechtzeitig vor Beginn einer Sturmflut oder Erreichen eines bestimmten Wasserstandes geschlossen werden. Die schon seit längerer Zeit mit dem Siel Nordfeld erfolgreich ausgeführten Spülungen [19] gaben den Anstoß, unterhalb von Nordfeld ein Sturmflutsperrwerk zu errichten und es auch zur Beeinflussung normaler Tiden heranzuziehen. Durch den planmäßigen Spülbetrieb des Sperrwerkes soll das ungünstige Verhältnis zwischen Ebbe- und Flutströmung verbessert werden. Bei einem derartigen Sperrwerk muß zur Aufrechterhaltung des Schiffsverkehrs auch eine Schleuse vorgesehen werden, weil im Gegensatz zu einem einfachen Sturmflutsperrwerk die Verschußzeiten einen längeren Zeitraum einnehmen.

Die im folgenden beschriebenen Anlagen sind Sturmflutsperrwerke mit gleichzeitiger Beeinflussung normaler Tiden durch entsprechenden Betrieb der Verschlüsse. Sie sollen hier kurz mit Sperrwerk bezeichnet werden. In den Versuchsberichten [4, 5] wurde die zu Verwechslungen Anlaß gebende Bezeichnung "Tidesteuerungsanlage" verwendet. Im Modell wurden die Durchflußöffnungen mit einer durchgehenden Schütztafel oder mit Klappen (T3) verschlossen, die bei den Sperrwerken T4 und T6 durch eine Regelungsautomatik gesteuert wurden. Abb. 7 zeigt als Beispiel eine Ansicht des Sperrwerks T6 mit 6 Öffnungen und einer Schiffsschleuse auf der linken Seite.

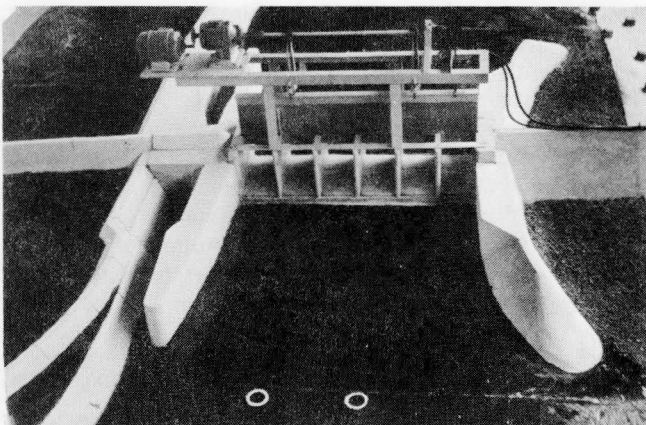


Abb. 7: Ansicht eines Sperrwerkes im Modell

Die Sperrwerksanlage T1 (km 99) wurde nicht im Modell untersucht, da nach den theoretischen Vorbetrachtungen der Flutraum oberhalb dieser Anlage nicht groß genug ist, um einen wirksamen Spülstrom über längere Zeit zu erzeugen.

#### 3.42 Sperrwerk T2 (km 100,7)

Das Sperrwerk wurde im Modell mit der Morphologie 1959/60 und mit dem Regelprofil IV untersucht (Abb. 2). Folgende Versuchsreihen wurden zur Entwicklung einer sinnvollen Tidebeeinflussung ausgeführt:

**1. Versuchsreihe I** Schützstellung während der ganzen Tide-dauer gleichbleibend (dauernde Querschnittseinengung!); es wurden fünf verschiedene Schützstellungen untersucht.

Durch Einschränkung des Durchflußquerschnittes werden im allgemeinen die Flutgeschwindigkeiten stärker geschwächt als der Ebbestrom. Das günstigste Verhältnis  $K = v_{\text{emax}}/v_{\text{fmax}}$  wird an den einzelnen Meßstellen bei ganz verschiedenen Wehrstellungen erreicht. Eine Querschnittseinschränkung mit optimaler Wirkung für den gesamten Strombereich Nordfeld – Hundeknöll läßt sich nicht angeben. Der hier verwendete Verhältniswert  $K$  wird aus den Scheitelwerten  $v_{\text{fmax}}$  und  $v_{\text{emax}}$  gebildet und vernachlässigt vollständig den Ablauf der Fließgeschwindigkeit im Zeitraum einer Tide. Es ist aber anzunehmen, daß bei dem feinkörnigen Sohlmaterial in der Eidermündung ( $d_m \sim 0,1 \text{ mm}$  [13, 18]) das Transportvermögen der Strömung durch die Geschwindigkeitsspitzen wesentlich verstärkt wird. Dieser  $K$ -Wert kann also als ein Kriterium zum Erkennen des Strömungsgeschehens und seiner Einwirkung auf die Morphologie angesehen werden.

**2. Versuchsreihe II** Schützstellung während der Flutstromdauer gleichbleibend (fünf verschiedene Schützstellungen). Während der Ebbestromdauer sind die Verschlüsse vollständig geöffnet. Durch die Bedingungen der Versuchsreihe II wird der Flutstrom bei gleicher Querschnittseinschränkung weit weniger geschwächt als in Versuchsreihe I. Der Flutraum ist jetzt oberhalb des Wehres größer als bei entsprechender Schützstellung der Reihe I, weil bei Ebbe der Abfluß durch den voll geöffneten Querschnitt größer ist und dementsprechend auch mehr Wasser zur Füllung benötigt wird.

**3. Versuchsreihe III** Schütze während der Flutstromdauer ganz geöffnet und Schließen bei  $K_f$ ; der Ebbestrom wurde für einige Zeit zurückgehalten und dann mit verstärktem Gefälle aus dem vollständig geöffneten Sperrwerk abgelassen; fünf verschiedene Rückhaltdauern.

In der Versuchsreihe III sollte geprüft werden, inwieweit sich das Verhältnis zwischen Ebbe- und Flutstrom ändert, wenn nach der Stromkenterung die Schütze für einige Zeit geschlossen werden und dann der Ebbestrom mit verstärktem Gefälle bei vollständig geöffneten Schützen ausströmt. Da die Ebbedauer mit steigender Rückhaltezeit verkürzt wird, liegt die optimale Rückhaltezeit bei 1 1/2 bis 2 Stunden.

Diese Untersuchungen haben gezeigt, daß es grundsätzlich möglich ist, den Tideablauf der Eider weitgehend zu beeinflussen und damit das Verhältnis Ebbestrom – Flutstrom zugunsten der Ebbe zu verbessern. Die Versuche mit zeit-

weiser Rückhaltung der Ebbe zeigten die besten Ergebnisse. Durch Kombination der Versuchsreihen II und III ließen sich Zustände finden, bei denen nicht nur der Ebbestrom durch Rückhaltung verstärkt wird, sondern bereits der Flutstrom durch Einschränken des Durchflußquerschnitts abgeschwächt wird oder durch entsprechend variable Beeinflussung eine bestimmte Fließgeschwindigkeit vor oder hinter dem Sperrwerk nicht überschreitet.

Auf Abb. 8 sind die Geschwindigkeitsverteilungen mit den dazugehörigen Tidekurven verschiedener Kombinationen (Versuchsreihe II/III) aufgetragen. Dabei zeigten die Versuche mit dem bereits unter 3.1 erwähnten Regelprofil IV noch günstigere Ergebnisse als die mit den Flußquerschnitten 1959/60.

Beim Sperrwerk T3 wurden im Modell Klappenverschlüsse eingebaut, die den Querschnitt von der Wehrschwelle her einschränken.

Es sollten auch extreme Querschnittseinschränkungen (bis 116% bez. auf Tnw) untersucht werden, um zu prüfen, wie weit die Einschränkung sinnvoll gesteigert werden kann.

Bei allen Versuchen wurden die Wehrklappen bei  $K_e$  auf die jeweils vorgegebene Stellung angehoben und in dieser Lage bis  $K_f$  unverändert stehen gelassen. Danach wurde das Wehr vollständig geschlossen und der Ebbestrom 0,5; 1,0; 1,5 oder 2,0 Stunden zurückgehalten. Der Ebbestrom fließt dann verstärkt bei vollständig geöffneten Wehrverschlüssen durch das Sperrwerk ab.

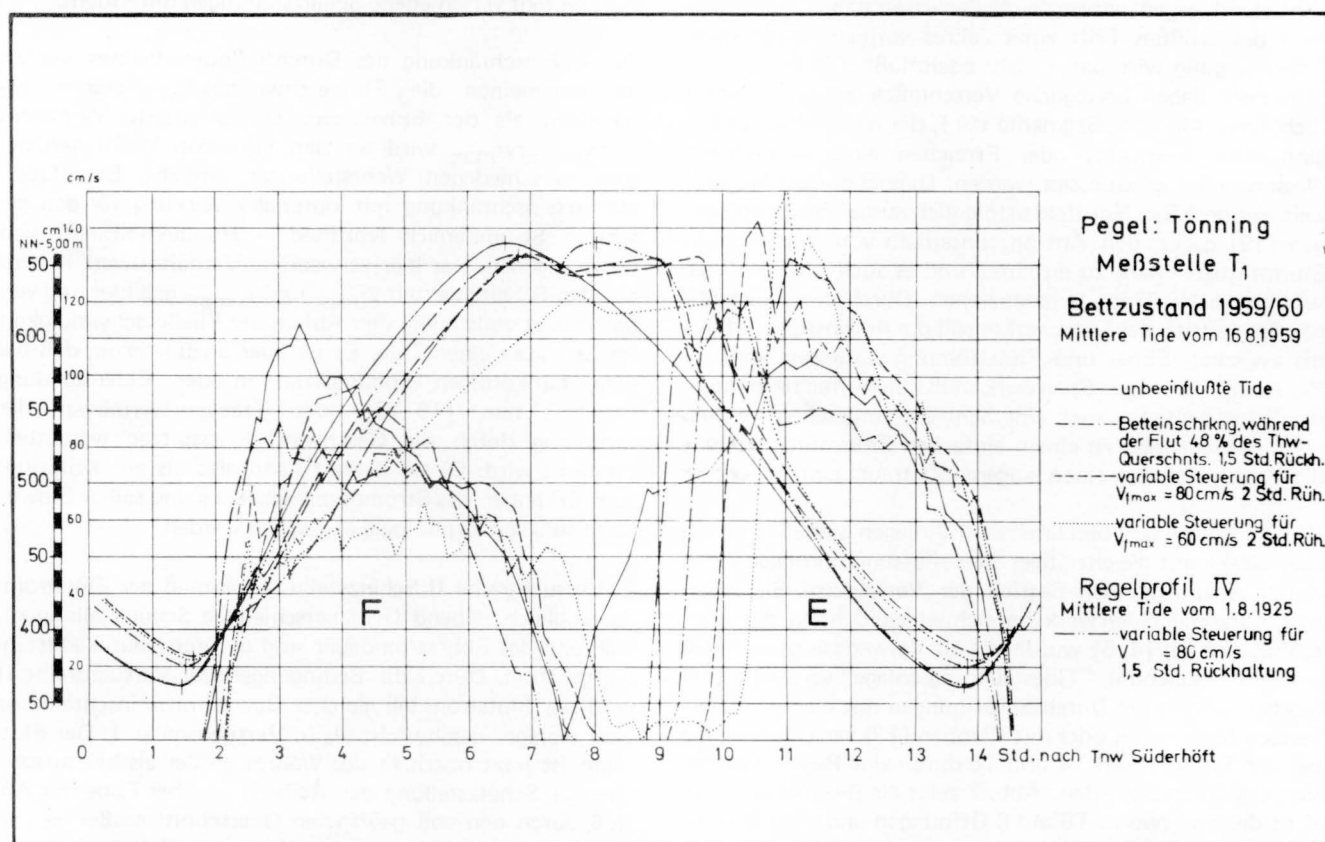


Abb. 8: Beeinflussung der Strömungsgeschwindigkeiten und Wasserstände durch Tidesteuerung bei Tönning (Sperrwerk T2, km 100,7)

### 3.43 Sperrwerk T3 (km 107,4)

Nachdem durch die Versuche mit T2 das Prinzip für eine Verbesserung der Verhältnisse in der Eider gefunden war, sollte untersucht werden, ob eine weiter stromabwärts angeordnete Lage des Sperrwerkes möglich war. Mit der Sperrwerksvariante T3 sollte der Flutspeicherraum vergrößert und damit ein nachhaltigerer Spülstrom bis ins Seegebiet hinein erzielt werden, da bei der Anordnung T2 der Spülstrom bereits im Querschnitt  $F_1 - F_2$  erschöpft war (Abb. 2). Bei länger anhaltenden hohen Außenwasserständen, die ein Schließen des Sperrwerkes erforderlich machen, ist der Stauraum hinter der Abdämmung T3 außerdem eher in der Lage, größere Niederschlagsmengen ohne unzulässige Erhöhung des Binnenwasserstandes aufzunehmen.

Durch feste Wehrschwellen und Anschlußdämme wurden 48% des Tnw-Querschnittes verbaut. Die verbleibenden 52% konnten mit beweglichen Verschlüssen abgeriegelt werden.

Um den gewünschten Abbau des Flutstroms zu erreichen, mußte so stark eingeschränkt werden, daß die Flutwassermenge hinter dem Sperrwerk erheblich kleiner wurde und bei Ebbe kein ausreichender Vorrat für einen kräftigen Spülstrom zur Verfügung stand. Diese Dämpfung der Flutwelle wirkt wie eine Teilabdämmung und begünstigt die Ablagerung von Sinkstoffen auf den unterhalb des Sperrwerkes gelegenen Watten und der Wattgebiete vor der Grünen Insel (Abb. 9). Um die Wirkungen solcher Auflandungen zu erkennen, wurden auch Versuche ausgeführt, bei denen einige Wattflächen bis auf MThw aufgehöhht waren.

Das Versuchsprogramm umfaßte folgende Versuchsreihen:

1. Sturmflutsperrwerk T3 mit der Morphologie 1959/60 verschiedene Wehrstellungen und Rückhaltezeiten; (Wehrstellungen = verschieden starke Einschränkungen des Durchflußquerschnitts durch die beweglichen Verschlüsse).



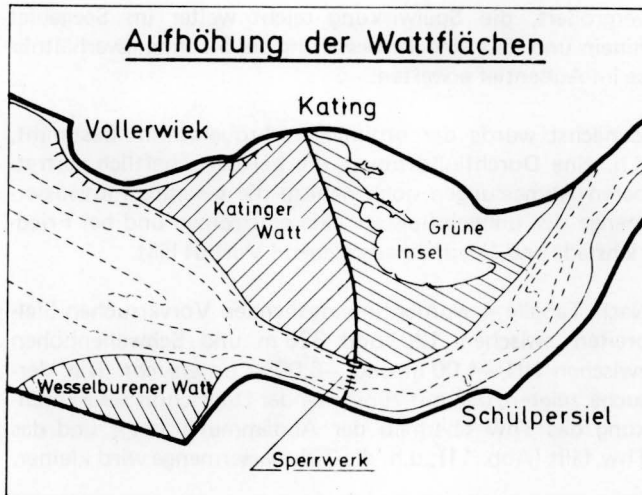


Abb. 9: Lageplan der Wattgebiete im Sperrwerksbereich

2. Sturmflutsperrwerk T3 mit der Morphologie 1959/60 Versandung des Wattgebietes Kating, verschiedene Wehrstellungen und Rückhaltezeiten;
3. Sturmflutsperrwerk T3 mit der Morphologie 1959/60 Versandung Wattgebiet Grüne Insel, verschiedene Wehrstellungen und Rückhaltezeiten;
4. Sturmflutsperrwerk T3 mit der Morphologie 1959/60 Versandung des Katinger Watts, vor der Grünen Insel und des Wesselburner Watts; verschiedene Wehrstellungen und Rückhaltezeiten;
5. Sturmflutsperrwerk T3 mit Regelprofil IV zwischen Tönning und Nordfeld, 4 Wehrstellungen und Rückhaltezeiten.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß mit wachsender Querschnittseinschränkung das Thw oberhalb des Sperrwerks sinkt (Abb. 10). Dagegen wird das Tnw (Versuchsreihe 1 bis 4) nur wenig beeinflusst, d.h. mit mehr oder weniger stark abnehmendem Flußraum werden die ein- und ausströmenden Tidewassermengen geringer.

Die Rückhaltung verbessert das Verhältnis von Flut- und Ebbestrom zugunsten der Ebbe. Man erkennt bereits an den Tidekurven (Abb. 10), daß sich oberhalb des Sperrwerks der Flutast abflacht, und die Ebbeäste auch noch in größerer Entfernung oberhalb der Steuerstelle einen steilen Abfall im ersten Drittel aufweisen, d.h. die Flutgeschwindigkeit wird kleiner und die Ebbe geschwindigkeit weist hohe Spitzen auf.

Mit Versandung der Wattgebiete wird das Verhältnis Ebbe zu Flutstrom im allgemeinen etwas schlechter. Die Räumkraft des Ebbestroms bleibt jedoch unterhalb des Sperrwerks im wesentlichen erhalten.

Die folgende Tabelle gibt hierzu einen Überblick.

Tabelle 3

Meßstelle	ohne Versandung		Versandung Grüne Insel		Versandung Katinger Watt		Vers. Gr. Insel Kating. Watt Wesselb. Watt	
	$K_{vmax}$	$k_{vM}$	$K_{vmax}$	$k_{vM}$	$K_{vmax}$	$k_{vM}$	$K_{vmax}$	$k_{vM}$
T1	1,01	1,19			0,90	1,05	0,85	1,03
E3	1,71	1,34			1,28	1,76	0,91	0,78
E 2	1,50	1,23	1,48	1,24	1,20	1,17	1,02	1,08

Die angegebenen Werte wurden für 1,5 Stunden Rückhaltung ermittelt.

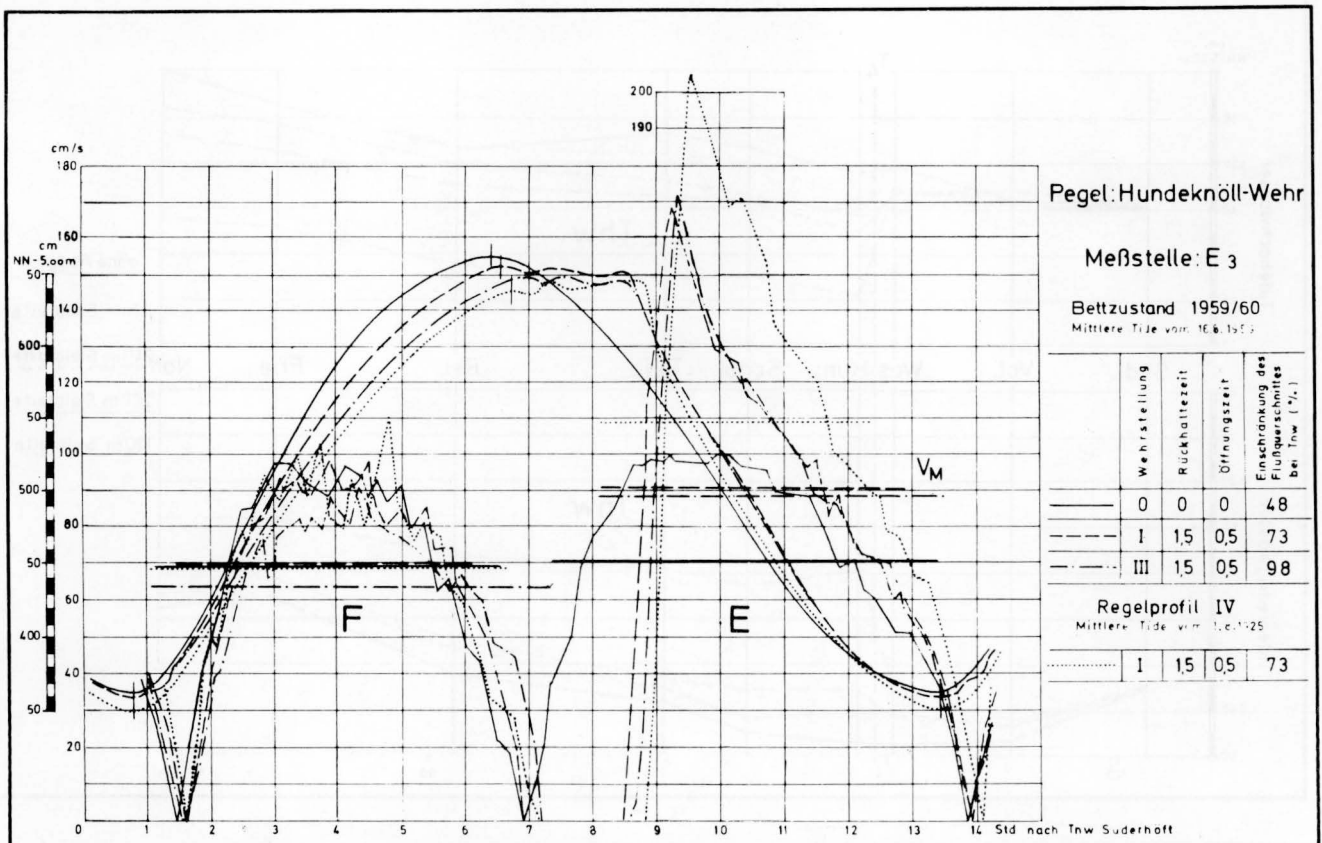


Abb. 10: Beeinflussung der Strömungsgeschwindigkeiten durch Tidesteuerung bei Hundeknöll (Sperrwerk T3, km 107,4)



Auch mit dem Sperrwerk T3 sind die Versuchsergebnisse mit Regelprofil IV gegenüber der Morphologie 1959/60 günstiger. Der 5. Zwischenbericht [6] enthält eine eingehende Beschreibung der Versuchsergebnisse mit dem Sperrwerk T3.

### 3.44 Sperrwerk T4 (km 109,4)

Die Messungen mit dem Sperrwerk T4 werden im 6. Zwischenbericht [7] diskutiert. Das Sperrwerk liegt in der Linie Hundeknöll – Vollerwiek [15] südlich des Katinger Watts bei km 109,4 (Abb. 2). Das Sperrwerk T4 ist hinsichtlich der Verkürzung der 1. Deichlinie von allen untersuchten Sperrwerken am günstigsten [20].

Die 1. Deichlinie wird um 57,5 km verkürzt. Das Sperrwerk T4 konnte trotz seiner geringen Entfernung zur unteren Modellgrenze als Anlage zur Tidebeeinflussung (normale Tide) geprüft werden. Parasitäre Reflexionserscheinungen wurden nicht beobachtet, die Auswirkungen einer vollständigen Schließung bei Sturmflut ließen sich jedoch im Modell nicht darstellen (siehe 3.2).

Der Flutraum wird gegenüber T3 bei mittlerer Tide um

$$\text{km 109,4: } T_f = 44,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{km 107,4: } T_f = 32,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\Delta T_f = 12,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

vergrößert, die Spülwirkung reicht weiter ins Seegebiet hinein und läßt eine Verbesserung der Strömungsverhältnisse im Außentief erwarten.

Zunächst wurde der optimale Wehrquerschnitt bestimmt, d.h. eine Durchflußöffnung, die bei wirtschaftlich vertretbaren Abmessungen noch nahezu die gesamte Flutwassermenge der unbeeinflussten Tide einströmen und bei Friedrichstadt und Nordfeld ausreichend Vorflut läßt.

Nach Tabelle 4 wurden in eingehenden Vorversuchen Sielbreiten zwischen 120 und 320 m und Schwellenhöhen zwischen NN -4,00 m und -6,00 m untersucht. Die Versuche zeigten, daß mit zunehmender Querschnittseinschränkung das Tnw oberhalb der Abdämmung steigt und das Thw fällt (Abb. 11), d.h. die Tidewassermenge wird kleiner.

Die Tidewassermengen nehmen mit wachsender Durchflußbreite und abnehmender Schwellenhöhe zu (Abb. 13). Etwa ab 400 m Breite münden sämtliche Mengenkurven tangential in die durch eine Parallele zur Abszisse gekennzeichnete Tidewassermenge  $T_n = 44,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  der unbeeinflussten Tide. Der Einfluß der Schwellenhöhe nimmt demnach mit zunehmender Durchflußbreite ab.

Mit den Abhängigkeiten in Abb. 13 und den auf Abb. 11 eingetragenen Scheitelwasserständen ließen sich Überlegungen für die Wahl geeigneter Schwellenhöhen und Durchflußbreiten anstellen. Nach den Versuchsergebnissen erschienen der Bereich 200 bis 240 m Breite und eine Schwellenhöhe

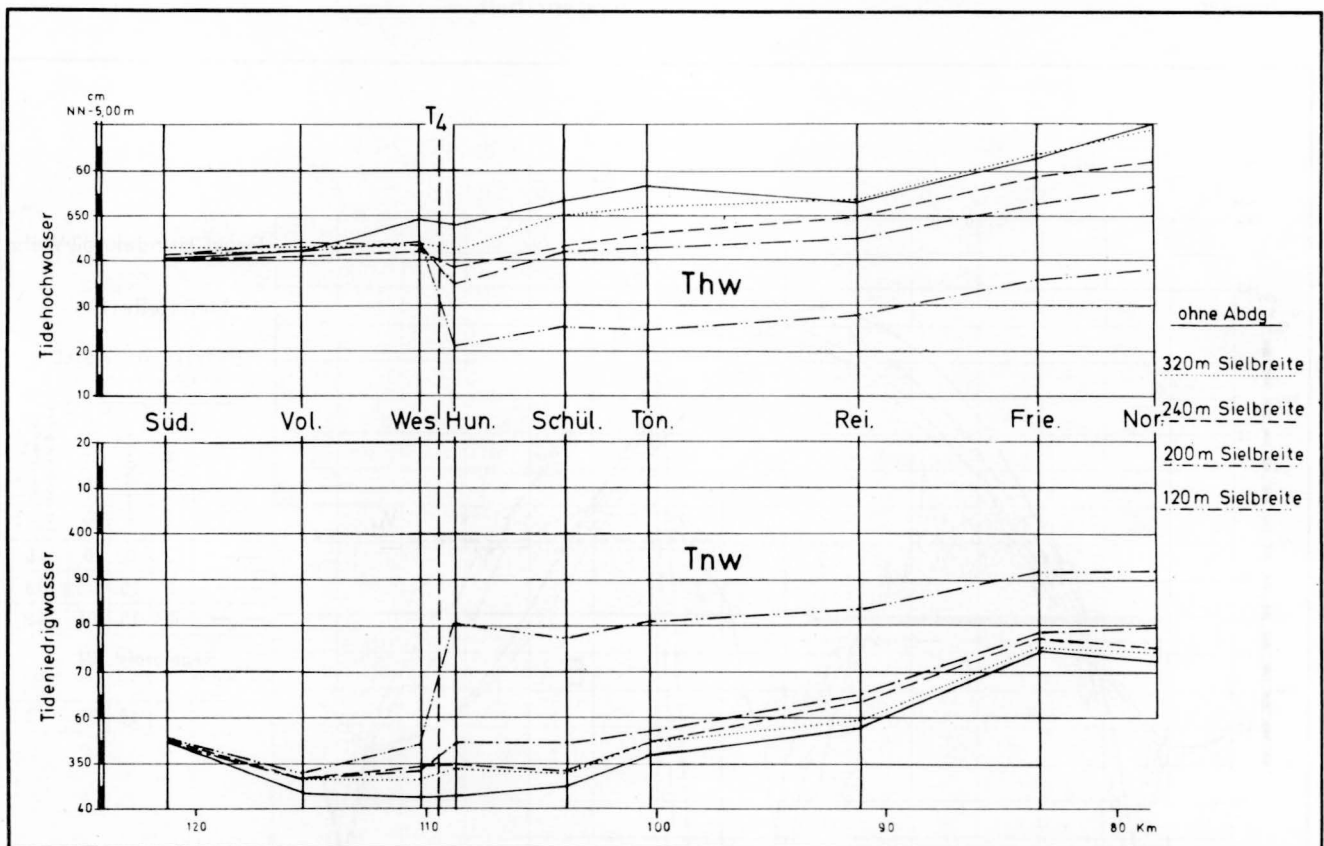


Abb. 11: Scheitelwasserstände bei verschiedenen Sielbreiten, ohne Rückhaltung (Sperrwerk T4, km 109,4)

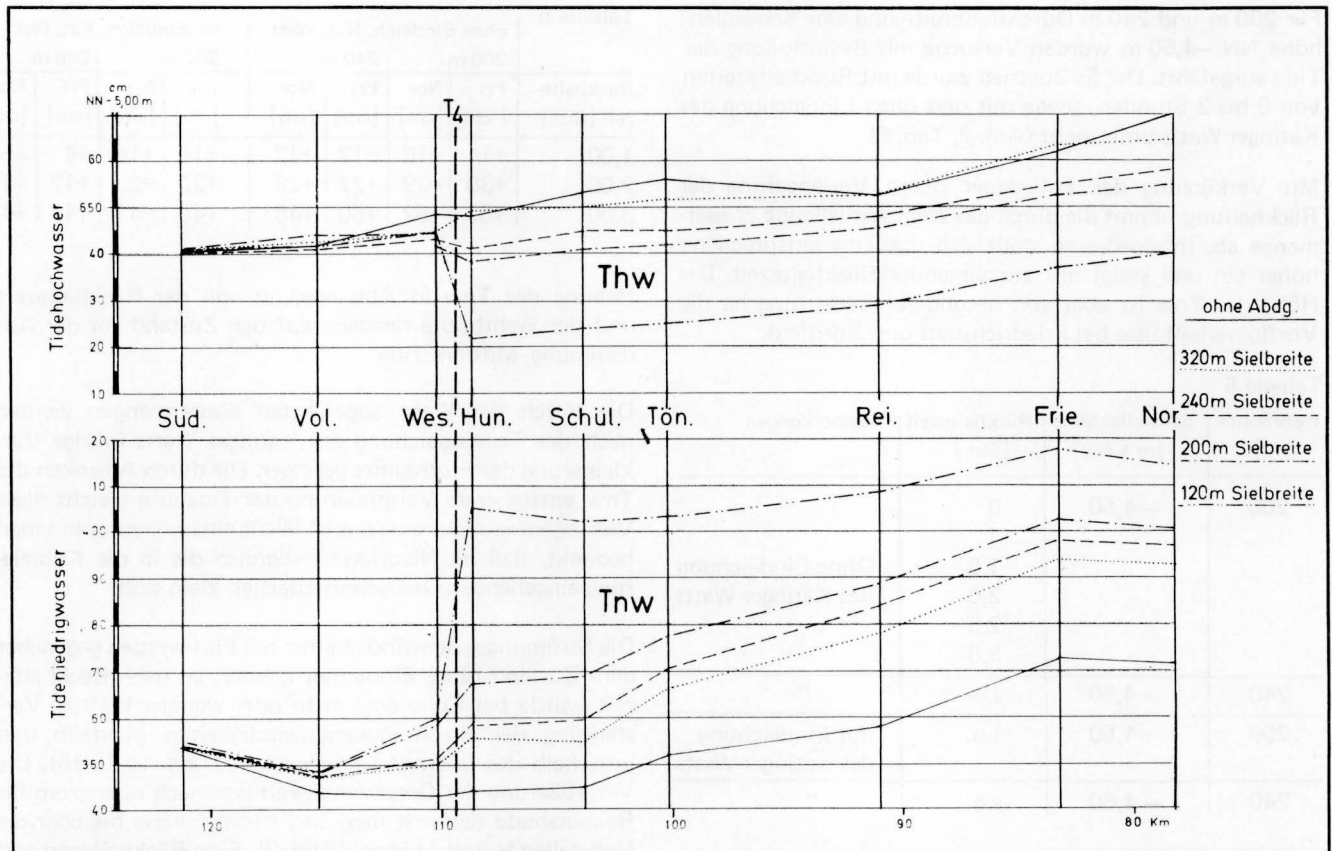


Abb. 12: Scheitelwasserstände bei verschiedenen Sielbreiten, mit 2 Std. Rückhaltung (Sperrwerk T4, km 109,4)

Tabelle 4

Anzahl der Durchflußöffnungen	Sielbreite [m]	Schwellen-m + NN	Querschnittseinschränkung in [%] bezogen auf	
			MTnw	MThw
3	120	-4,00	87	87
5	200	-4,00	78	79
6	240	-4,00	74	74
8	320	-4,00	65	66
3	120	-4,50	84	86
5	200	-4,50	73	77
6	240	-4,50	68	72
8	320	-4,50	57	62
3	120	-5,00	81	85
5	200	-5,00	69	75
6	240	-5,00	63	69
8	320	-5,00	50	59
3	120	-6,00	76	82
5	200	-6,00	60	71
6	240	-6,00	52	65
8	320	-6,00	36	53

von NN -4,50 m unter der Voraussetzung einer guten Spülwirkung als besonders günstig und auch wirtschaftlich vertretbar.

Die Einschnürung (73,4% bezogen auf MTnw, 76,5% bezogen auf MThw) erscheint für eine Schwellenhöhe NN -4,50 m und 200 m Durchflußbreite zunächst groß; die Wasserstände und Wassermengen unterscheiden sich jedoch nicht wesentlich vom Naturzustand. Die Tidewassermengen nehmen auf Tn bezogen um ~ 12,5% ab, während der Tide-

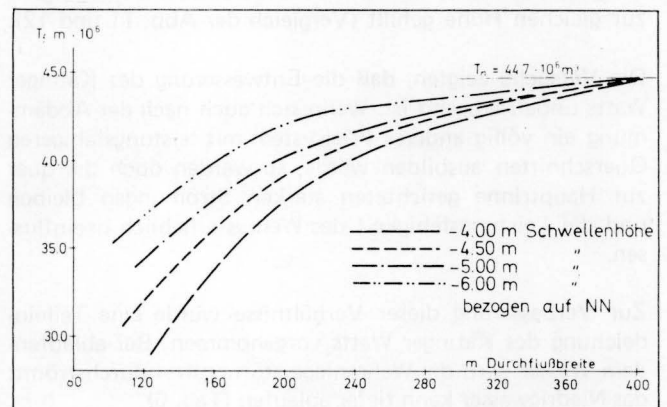


Abb. 13: Tidewassermengen (Sperrwerk T4, km 109,4)

hub um ~ 8,2% abnimmt. Nach Wittmer [23] ist ein nennenswerter Einfluß auf die Tidewasserstände aber bereits bei einer Querschnittsverminderung der Ausgangsflächen von 66,7% vorhanden. Allerdings wurden diese Untersuchungen in einem schematischen Tidemodell mit Rechteckgerinne ausgeführt. Die Einschnürung erfolgte symmetrisch von beiden Seiten. Die hydraulischen Vorgänge in der Eider sind dagegen erheblich komplexer, da sich der Abfluß während der Tide von dem Tnw-Rinnensystem auf die Wattflächen und umgekehrt im stetigem Rhythmus verlagert. Außerdem wurde der Querschnitt nicht nur seitlich, sondern auch von der Sohle her durch eine Schwelle eingeschränkt. Es sind also gegenüber der Wittmerschen Versuchsanordnung größere Breiten und Wassertiefen vor der Einschnürungsstelle vorhanden, so daß die An- und Abströmungsverhältnisse durchaus günstiger sein können.

Für 200 m und 240 m Durchflußbreite und eine Schwellenhöhe NN -4,50 m wurden Versuche mit Beeinflussung der Tide ausgeführt. Der Spülbetrieb wurde mit Rückhaltezeiten von 0 bis 3 Stunden, sowie mit und ohne Eindeichung des Katinger Watts untersucht (Anl. 2, Tab. 5)

Mit Verkürzung der Ebbedauer durch Verlängerung der Rückhaltung nimmt die durch das Wehr abfließende Wassermenge ab. Infolgedessen stellt sich das Tnw entsprechend höher ein und steigt mit zunehmender Rückhaltezeit. Die Höhe des Tnw ist aber von besonderer Bedeutung für die Vorflutverhältnisse bei Friedrichstadt und Nordfeld.

Tabelle 5

Wehrbreite [m]	Schwellenhöhe [m + NN]	Rückhaltezeit [Std.]	Bemerkungen
200	- 4,50	0 1 1,5 2,0 2,5 3,0	Ohne Eindeichung des Katinger Watts
240	- 4,50	s.o.	"
200	- 4,50	s.o.	mit Eindeichung des Katinger Watts
240	- 4,50	s.o.	"

Das Thw wird dagegen durch die Rückhaltedauer nicht beeinflusst, d.h. der Flutraum oberhalb der Abdämmung wird bei gleichem Sielquerschnitt mit oder ohne Rückhaltung bis zur gleichen Höhe gefüllt (Vergleich der Abb. 11 und 12).

Die Versuche zeigten, daß die Entwässerung des Katinger Watts unbefriedigend ist. Wenn sich auch nach der Abdämmung ein völlig anderes Prielsystem mit leistungsfähigeren Querschnitten ausbilden würde, so werden doch die quer zur Hauptrinne gerichteten starken Strömungen bleiben und die Leistungsfähigkeit des Wehres erheblich beeinflussen.

Zur Verbesserung dieser Verhältnisse wurde eine Teileindeichung des Katinger Watts vorgenommen. Bei ablaufendem Wasser wird die Wehranlage störungsfrei durchströmt; das Niedrigwasser kann tiefer abfließen (Tab. 6).

#### 4. Modellversuche für die gewählte Ausführungslösung

Die Versuche mit der Sperrwerksanordnung T4 hatten gezeigt, daß dieser Standort global betrachtet hinsichtlich der Strömungsverhältnisse unterhalb des Bauwerks günstig ist. Die Abdämmung Hundeknöll - Vollerwiek schafft außerdem eine besonders günstige Deichführung.

Auf Grund der Untersuchungen mit T4 wurde das Prinzip des Sperrwerks mit Tidebeeinflussung zur Bauausführung vorgesehen. Bautechnische Überlegungen ließen es jedoch als vorteilhafter erscheinen, die Sperrwerksanlage selbst auf dem Watt innerhalb eines Ringdeiches zu errichten.

Durch Modellversuche sollte geklärt werden, ob bei der Lage auf der Südspitze des Katinger Watts die Spülwirkung ebenso günstig ist, wie bei der Lage T4 (Sperrwerk in der

Tabelle 6

Rückhaltezeit [Std.]	ohne Eindeich. Kat. Watt				m. Eindeich. Kat. Watt			
	200 m		240 m		200 m		240 m	
	Fri [cm]	Nor [cm]	Fri [cm]	Nor [cm]	Fri [cm]	Nor [cm]	Fri [cm]	Nor [cm]
1,00	+14	+16	+12	+12	+10	+16	+4	+5
2,00	+30	+29	+27	+28	+23	+23	+17	+18
3,00	+53	+52	+50	+48	+46	+41	+41	+40

Hebung des Tnw in Abhängigkeit von der Rückhaltezeit und der Wehrbreite bezogen auf den Zustand vor der Abdämmung, Mittlere Tide

Die durch das Wehr abgeführten Wassermengen werden nach der Teileindeichung des Katinger Watts infolge Verkleinerung des Flutraumes geringer. Die durch Absinken des Tnw entstehende Vergrößerung des Tidehubs gleicht diese Verringerung nicht aus; das ist leicht einzusehen, wenn man bedenkt, daß im Niedrigwasserbereich die in die Kubisierung eingehenden Querschnittsflächen klein sind.

Die Strömungsgeschwindigkeiten bei Flut werden gegenüber dem Zustand ohne Einbauten kleiner. Je nach Rückhaltezeit wurde bei Ebbe eine mehr oder weniger kräftige Verstärkung der Strömungsgeschwindigkeiten oberhalb und unterhalb des Sperrwerks festgestellt (Abb. 14,15,16). Die Vergrößerung der Geschwindigkeit war nach oberstrom bis Reimersbude deutlich merkbar; stromabwärts bis über die Meßstellen H und J hinaus (Abb. 2). Eine Rückhaltezeit von 2 Stunden erscheint günstig. Auf zusätzliche Drosselung des Flutstromes durch den Klappenbetrieb wurde bei den Versuchen mit T4 verzichtet, damit der Sperrwerksbetrieb nicht von vornherein zu kompliziert wurde. Bei dem Betrieb ohne Drosselung des Flutstromes wird der Sandeintritt durch das Sperrwerk nicht wesentlich behindert. Es kann aber erwartet werden, daß durch den im Verhältnis zum Flutstrom i.a. wesentlich verstärkten Ebbestrom die eingetribenen Sandmengen wieder herausgespült werden. Da die Verschlüsse erst zur Stauwasserzeit geschlossen werden, ist vor dem Sperrwerk mit keiner zusätzlichen Sandablagerung zu rechnen. Es ist jedoch möglich, daß sich bei Sturmfluten oder sonstigen längeren Schließzeiten Sand vor dem Sperrwerk ablagert, der sicherlich durch einen verstärkten Spülbetrieb wieder beseitigt werden kann, wenn die Sperrzeiten nicht zu lange dauern.

Hauptrinne). Außerdem sollten Einzelheiten der Bauwerksanordnung und -gestaltung untersucht werden. Die Versuche werden im einzelnen in [8] beschrieben.

Auf Grund der Ergebnisse von T4 wurde die lichte Durchflußbreite mit 200 m festgelegt. Die Wehrschwelle soll auf NN -4,60 m liegen. Die Linienführung der Anschlußdämme wurde der neuen Situation angepaßt; die Gesamtlänge Hundeknöll - Spannbüllhorn beträgt 4,8 km (Abb. 17 und 2).

Das Katinger Watt soll durch einen unmittelbar nördlich des Sperrwerkes ansetzenden Sommerdeich, der in leicht gekrümmter Trasse über das Watt verläuft und auf der Grünen Insel endet, binnenseitig eingedeicht werden (Abb. 17).

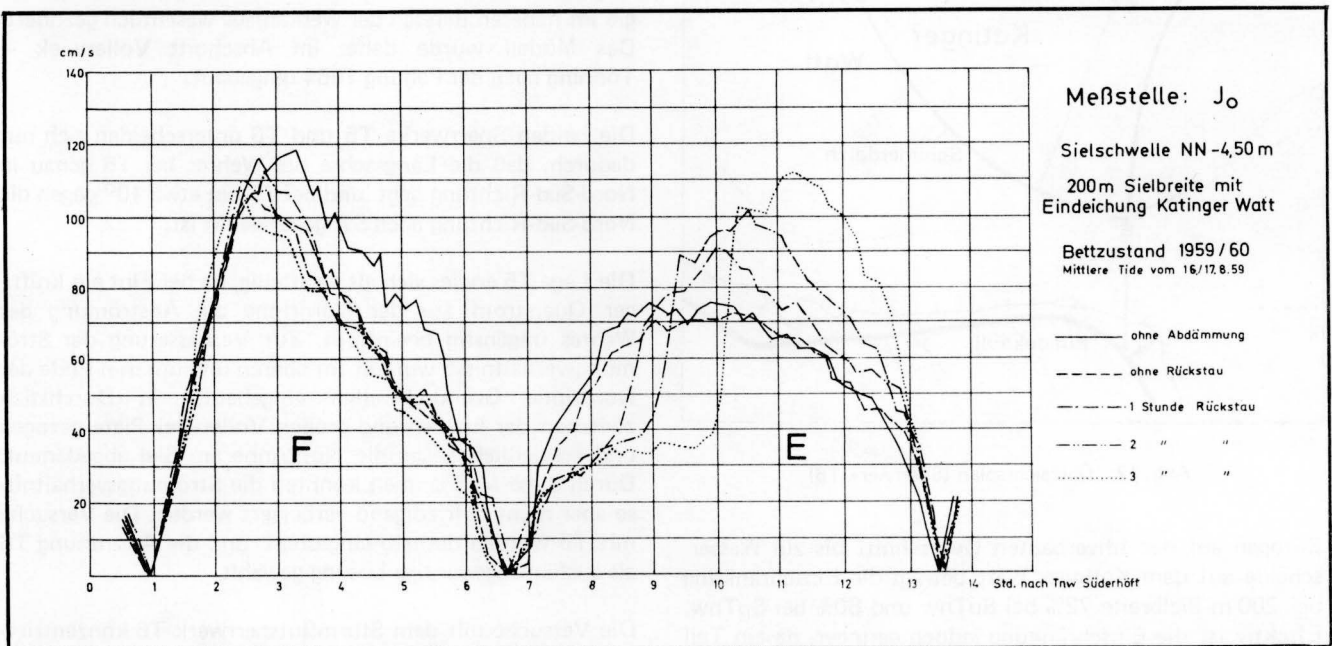
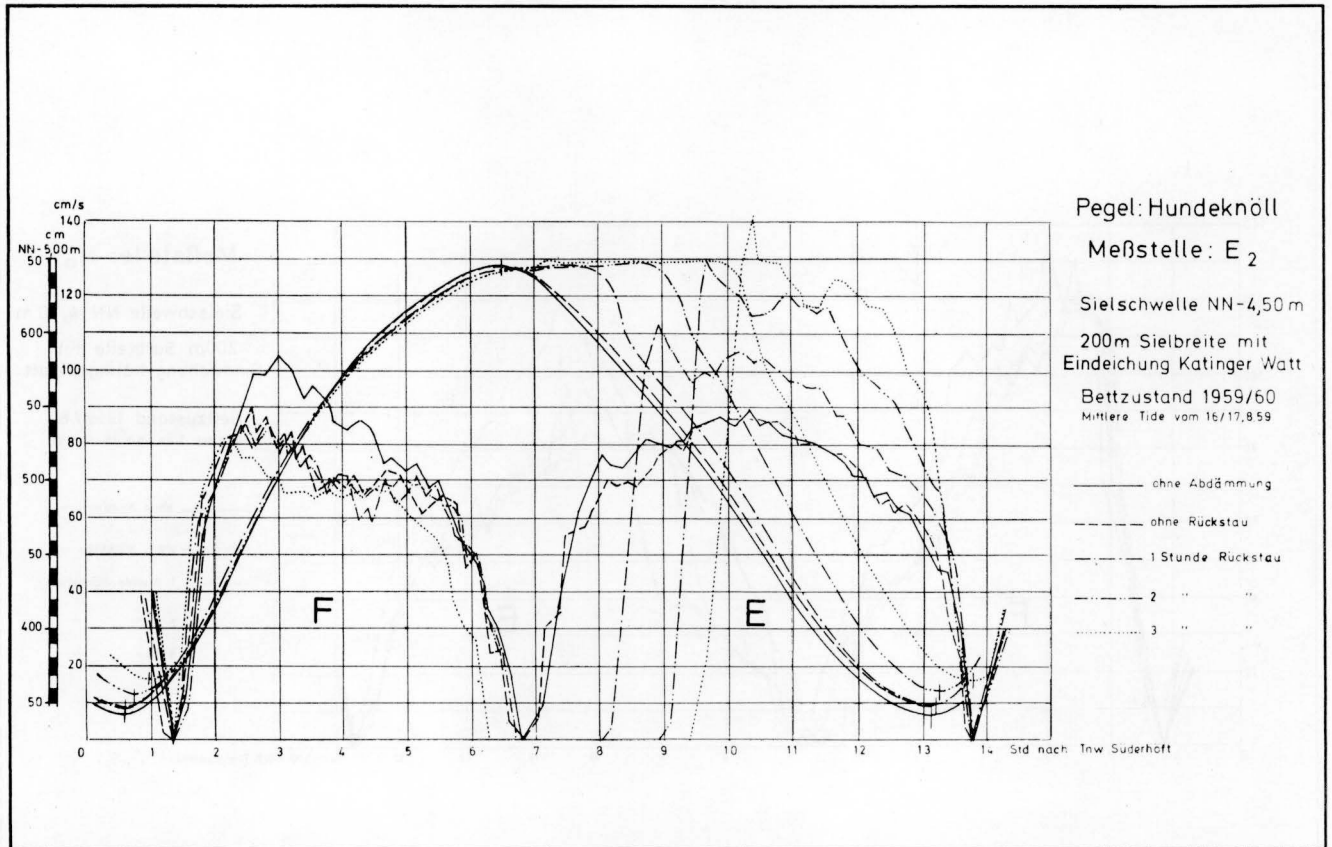


Abb. 14 - 15: Strömungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Rückhaltezeiten (Sperrwerk T4, km 109,4)



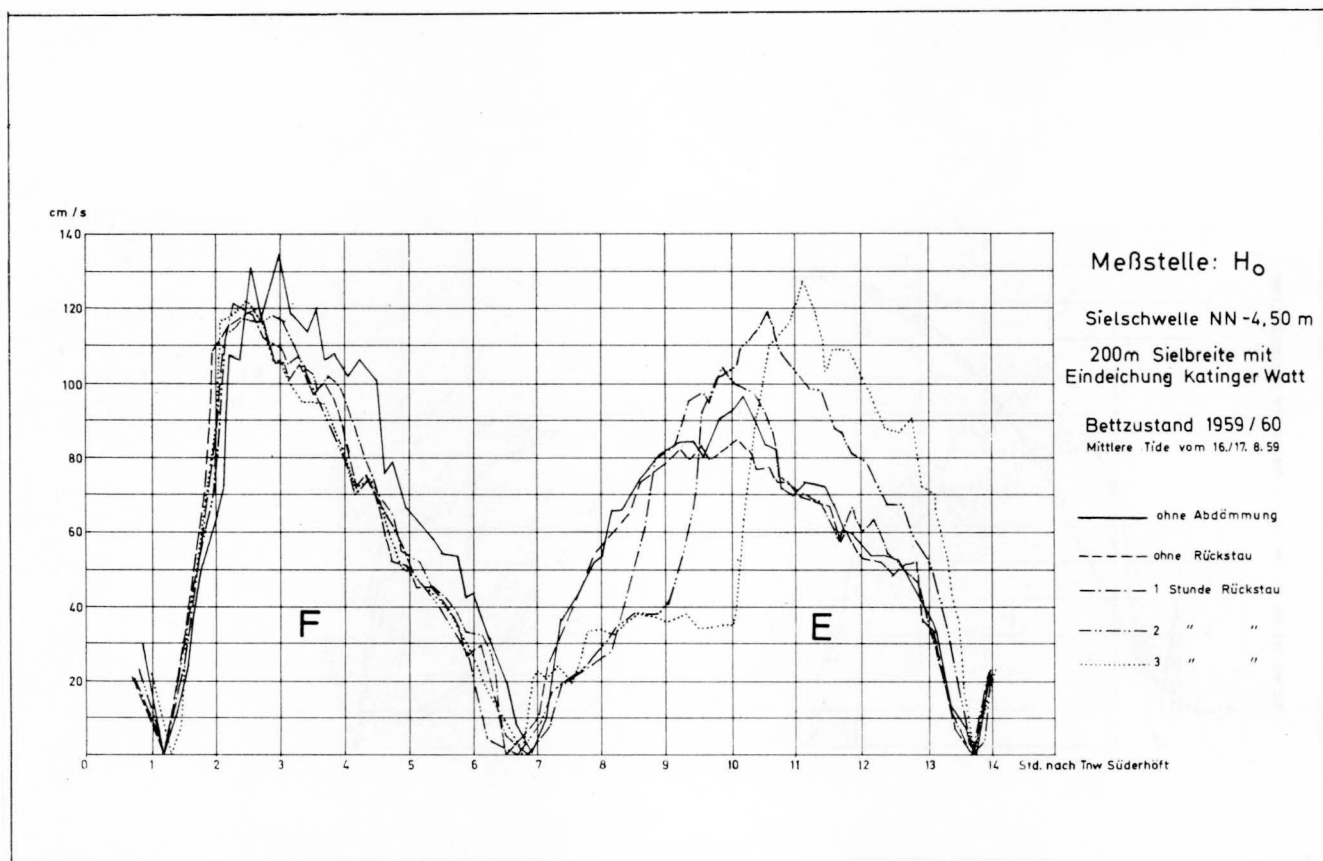


Abb. 16: Strömungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Rückhaltezeiten (Sperrwerk T4, km 109,4)

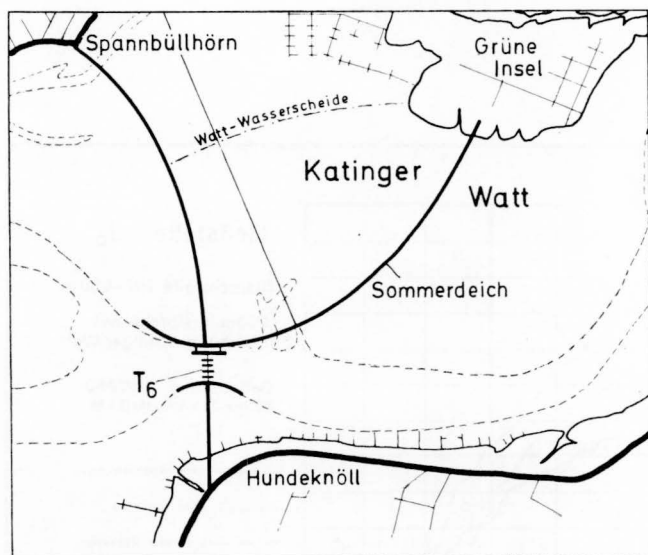


Abb. 17: Übersichtsplan (Sperrwerk T6)

Bezogen auf den unverbauten Querschnitt bis zur Wasserscheide auf dem Katinger Watt beträgt die Einschränkung bei 200 m Sielbreite 72% bei SpTnw und 80% bei SpThw. Effektiv ist die Einschränkung jedoch geringer, da ein Teil des Katinger Watts nach der Abdämmung eingedeicht ist. Der Flutraum dieser Wattfläche beträgt  $5,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Um diesen Betrag ermäßigt sich die den Wehrquerschnitt durchströmende Wassermenge.

Da mit zeitweiligem Ausfall eines Wehrverschlusses z.B. bei Betriebsstörungen oder bei Reparaturarbeiten gerechnet

werden muß, wurden auch die Verhältnisse für 160 m Durchflußbreite und aus Gründen der Systematik ebenfalls für 120 m Breite untersucht.

Gegenüber dem Zustand 1959/60 hatte sich die Morphologie im näheren Bereich der Wehranlage wesentlich geändert. Das Modell wurde daher im Abschnitt Vollerwiek – Tönning nach der Peilung 1964 umgebaut.

Die beiden Sperrwerke T5 und T6 unterscheiden sich nur dadurch, daß die Längsachse des Wehres bei T6 genau in Nord-Süd-Richtung liegt und bei T5 um etwa  $10^\circ$  gegen die Nord-Süd-Richtung nach SW geschwenkt ist.

Die Lage T5 erwies sich als nachteilig, da bei Flut ein kräftiger Querstrom aus der Nordrinne die Anströmung des Wehres ungünstig beeinflusst. Zur Verbesserung der Strömungsverhältnisse wurden am oberen und unteren Ende der Nordrinne Grundswellen eingebaut, ein Durchstich zwischen der kleinen und großen Vollerwiek-Plate gezogen und schließlich sogar die Nordrinne am Siel abgedämmt. Durch diese Maßnahmen konnten die Strömungsverhältnisse aber nicht befriedigend verbessert werden. Die Versuche mit T5 wurden deshalb eingestellt und die Anordnung T6 als ausführungswürdige Lösung gewählt.

Die Versuche mit dem Sturmflutsperrwerk T6 konzentrierten sich zunächst darauf, den Flutstrom aus Nord- und Südrinne möglichst störungsfrei zusammenzufassen und dem Wehr so zuzuführen, daß alle Öffnungen möglichst gleichmäßig belastet werden. Das gelang befriedigend durch entsprechende Anordnung von Leitdämmen und besonders durch die Form des südlichen Leitmole. Von Bedeutung war ebenfalls ein zügiger Übergang zwischen der neuen Zu-

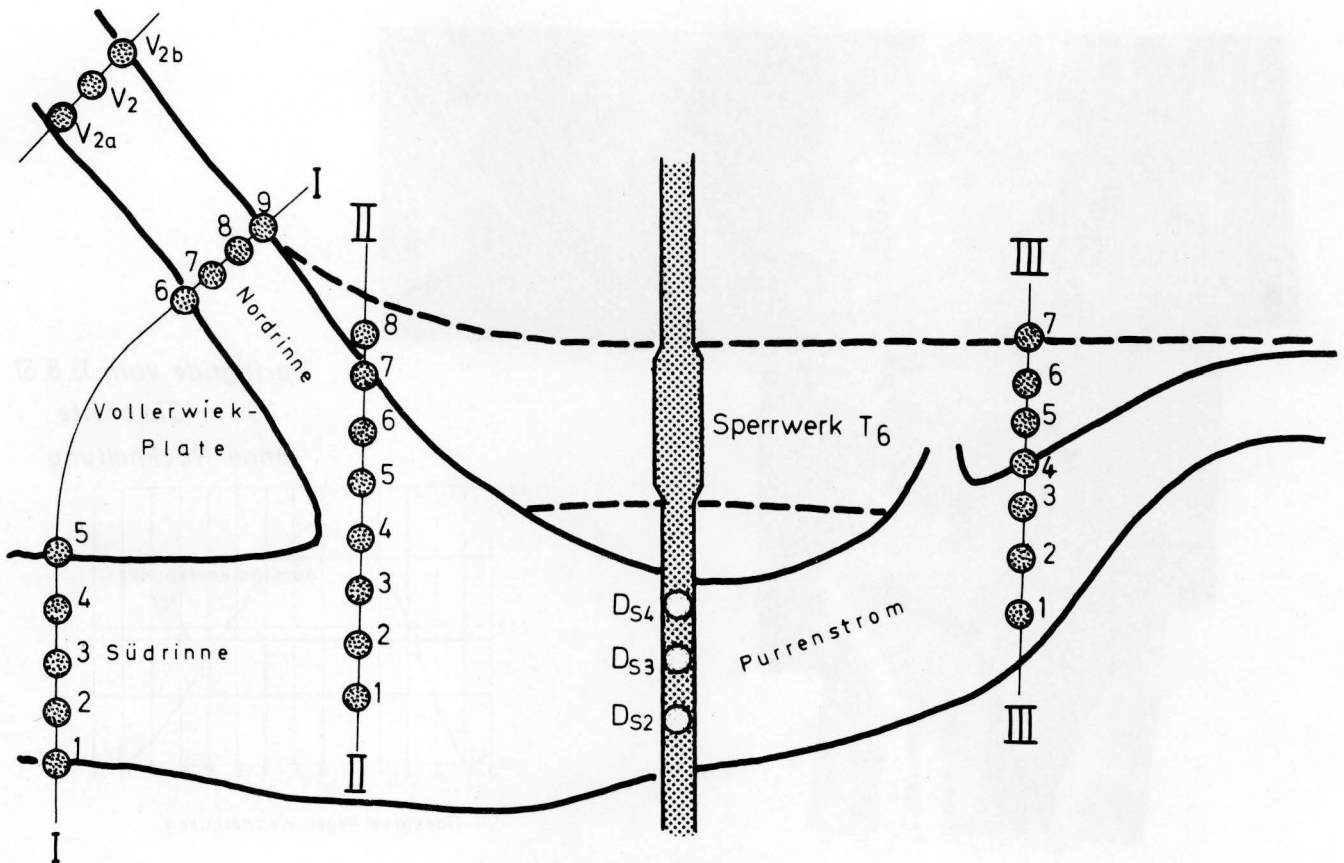


Abb. 18: Detailplan, Lage der Meßpunkte (T6)

bringerrinne zum Sperrwerk und dem vorhandenen Stromrinnensystem. Aus den Geschwindigkeiten der Tab. 7 ist in Verbindung mit Abb. 19 für verschiedene Südmolenvarianten in den einzelnen Wehrröffnungen eine recht gleichmäßige Beaufschlagung zu erkennen. Die Schleuse wurde auf der Nordseite des Sperrwerks angeordnet, weil die Schifffahrtsrinne seit längerer Zeit nördlich der Großen Vollerwiek-Plate liegt.

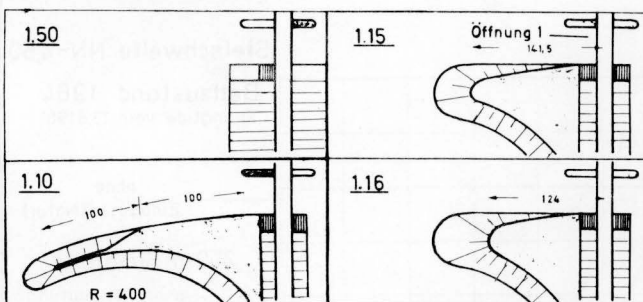


Abb. 19: Varianten des südlichen Leitdamms (Sperrwerk T6)

Der seeseitige nördliche Leitdamm (Abb. 20) hat zwei Aufgaben zu erfüllen, einmal soll er die vom Watt einfallende Querströmung vor der Einfahrt zum Schleusenvorhafen ablenken und zum anderen eine gute Anströmung der nördlichen Wehrröffnungen gewährleisten. Die Abb. 20 zeigt den Strömungsverlauf vor dem Sperrwerk während einer Springtide, sowie eine nördliche und südliche Leitdammvariante. Der Aufnahmezeitpunkt liegt etwa 30 Minuten vor Erreichen des Tidehochwassers. Man erkennt, daß im Bereich des Sperrwerks eine gute Anströmung vorhanden ist. Wie schon bei T3 und T4 ergeben sich auch hier bei freiem Durchfluß (Wehr vollständig geöffnet) nur geringe Abweichungen von den Scheitelwerten des Naturzustandes.

Beim Spülbetrieb hebt sich das Tnw (wie bei T4) mit zunehmender Rückhaltezeit, da infolge der verkürzten Ebbe- und Stromdauer nicht mehr die gesamte Tidewassermenge der unbeeinflussten Tide ablaufen kann. Auf das Thw hat die Rückhaltedauer dagegen praktisch keinen Einfluß, d.h. der Flutraum wird immer wieder bis zur gleichen Höhe gefüllt.

Tabelle 7

Mittlere Strömungsgeschwindigkeiten in den Wehrröffnungen 1-5

Variante Textabb. 7	Nord									
	Wehrröffnung					Süd				
	Flut	Ebbe	Flut	Ebbe	Flut	Ebbe	Flut	Ebbe	Flut	Ebbe
1,00	196	204	222	210	199	222	179	196	182	169
1,10	189	197	208	201	187	213	177	190	202	193
1,15	181	196	210	199	188	236	173	192	196	182
1,16	183	197	204	199	188	214	179	193	195	183

Werte in [cm/s]

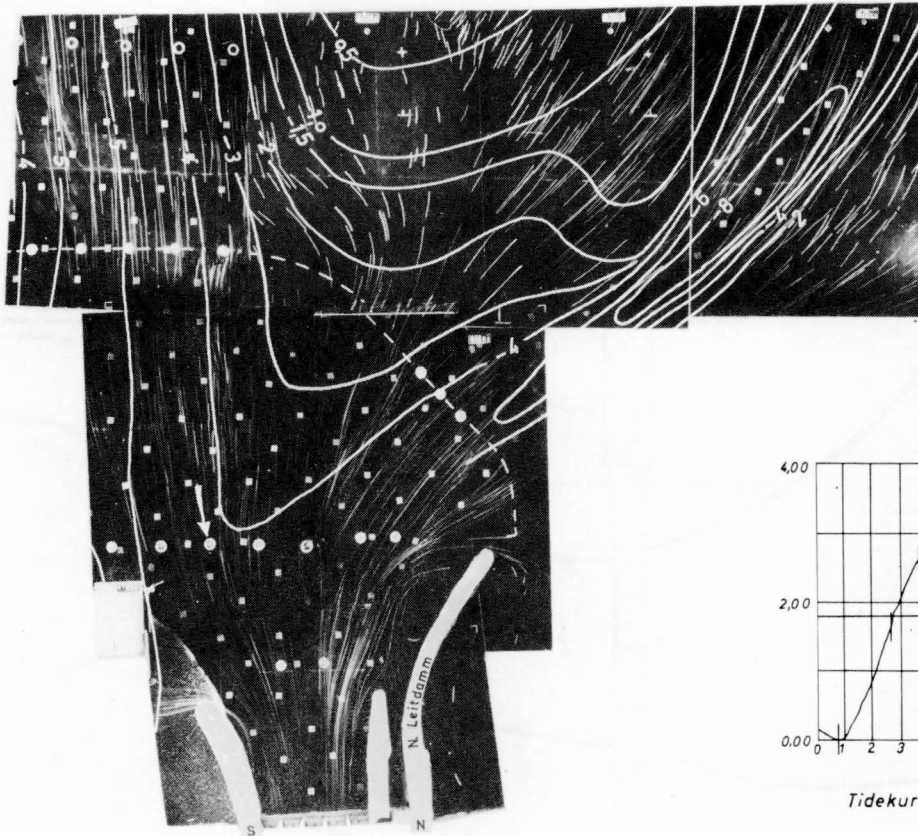
Die Scheitelwerte für Springtide und Mittlere Tide sind in der folgenden Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 8

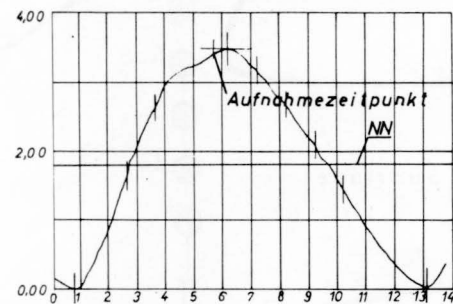
Scheitelwasserstände bei Springtide und Mittlerer Tide vor und nach der Abdämmung für verschiedene Zustände

Rückhaltezeit [Std.]	Wehrbreite [m]	Hun		Tön		Rei		Fri		Nor	
		Tnw cm	Thw cm	Tnw cm	Thw cm	Tnw cm	Thw cm	Tnw cm	Thw cm	Tnw cm	Thw cm
Springtide											
	ohne Einb.	316	666	336	677	351	684	360	696	354	698
0	200	319	661	337	677	354	688	363	700	357	700
1	200	322	661	344	677	363	688	372	700	365	700
2	200	329	661	359	677	380	688	390	700	381	701
0	160	321	656	339	673	355	683	365	699	359	696
Mittlere Tide											
	ohne Einb.	343	643	346	652	361	662	378	662	382	669
0	240	344	640	348	651	362	662	379	662	383	667
0	200	345	640	349	650	362	661	379	660	383	667
0	160	346	637	350	648	344	659	381	656	384	664
0	120	353	622	257	638	371	649	387	648	389	653
1	240	346	641	352	650	368	661	386	662	389	666
2	240	347	641	360	650	381	661	398	662	401	666
1	200	345	640	351	651	367	682	385	662	388	667
2	200	346	640	360	651	380	662	398	660	400	667

Wasserstände bezogen auf PN = NN - 5,00 m



Springtide vom 13.8.61  
200m Sielbreite  
ohne Rückhaltung



Tidekurve Pegel Wesselburen

Abb. 20: Strömungsbild (Sperrwerk T6)

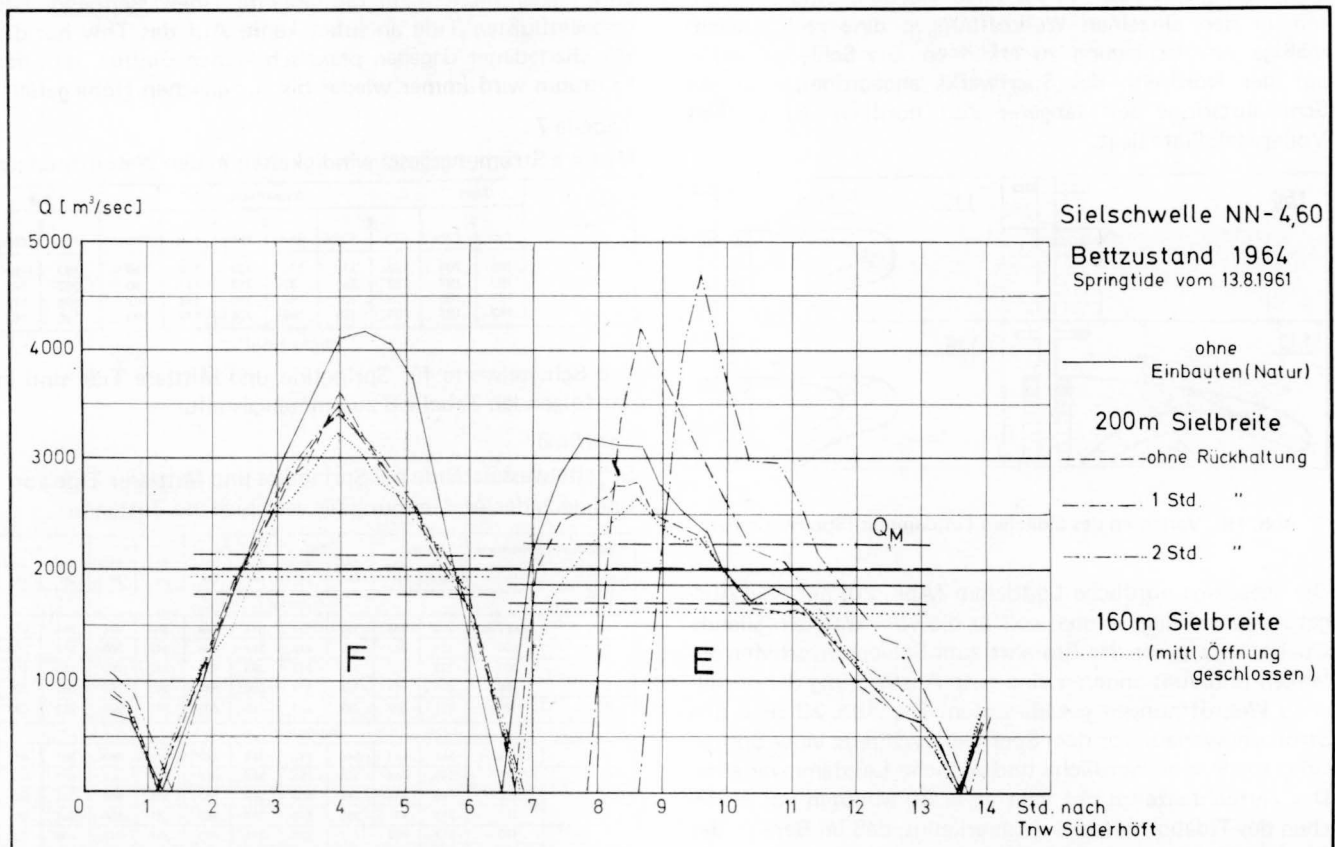


Abb. 21: Durchflußmengen (Sperrwerk T6)

Das Niedrigwasser bei Springtide liegt bei 200 m Wehrbreite und zweistündiger Rückhaltung in Friedrichsstadt auf PN +390 cm und in Nordfeld auf PN +381 cm, die entsprechenden Werte für die Mittlere Tide sind PN +398 cm (Fri) und PN +400 cm (Nor). Diese Werte sind zwar jeweils im Mittel Fri – Nor um 28,5 cm bei Springtide und um 19 cm bei Mittlerer Tide größer als die Ausgangswerte der ungestörten Tide vom 16.8.1959, sie liegen jedoch noch unter den MTnw 1956/60 Fri = +415 cm und Nor = +429 cm. Es ist dabei aber einschränkend zu bemerken, daß die MTnw 1956/60 durch den Spülbetrieb Nordfeld (seit 1953) beeinflusst sind.

Nach Tab. 8 unterscheiden sich bei Mittlerer Tide die Scheitelwasserstände der Zustände "Ohne Einbauten" und "Wehrbreite 200 und 240 m" (ohne Rückhalt) praktisch nicht voneinander. Das bedeutet, daß der nach der Abdämmung verbleibende Flutraum oberhalb des Wehres bei 200 m Durchflußbreite fast ebenso gefüllt wird wie vor der Abdämmung. Dieser Wert kann also als optimale Füllbreite angesehen werden.

Die Durchflußmengen am Siel während einer Tide sind auf Abb. 21 dargestellt. Die Abweichungen im Flutbereich lassen sich mit der Verringerung des Flutraumes durch die Eindeichung des Katinger Watts erklären. Die Werte in Tab. 9 zeigen, daß die Tidewassermengen  $T_f$  für den Naturzustand und eine Wehrbreite von 200 m ohne Rückhaltung unter Berücksichtigung der Eindeichung des Katinger Watts ( $T_f = 5,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) gut miteinander übereinstimmen ( $48,13 - 5,8 = 42,33 \sim 42,29 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ).

Auf den Abb. 22 bis 24 sind die Strömungsgeschwindigkeiten während einer Tide für verschiedene Zustände und die Meßpunkte I/5, V<sub>2</sub> und III/5 aufgetragen (Abb. 18). Bei

Flut ist für sämtliche untersuchten Zustände ein hinreichend ähnlicher Verlauf der Kurven zu erkennen, während bei Ebbe durch die unterschiedlichen Rückhaltezeiten entsprechende Verschiebungen sowohl in der Form als auch in der Größenordnung eintreten. Die Lage der Meßpunkte ist dabei auch von Bedeutung. Die Punkte I/5 und V<sub>2</sub> (Abb. 22 und 23) zeigen nach Einbau des Wehres (ohne Rückhaltung) gegenüber dem Ausgangszustand eine erheblich stärkere Ebbeintensität. Dazu müssen die Strömungsverhältnisse im Außenfeld des Bauwerks insgesamt betrachtet werden. Mit steigendem Wasserspiegel bei Flut kann sich der Beschleunigungsbereich des Wehres nicht weit nach außen entwickeln, während die Strahlkonzentration durch das Wehr bei Ebbe und fallendem Wasserspiegel sich örtlich noch in größeren Abständen vom Bauwerk auswirkt. Umgekehrt bilden sich die Strömungsverhältnisse auf der Binnenseite der Abdämmung aus.

Tabelle 9

Maximale Durchfluß- und Tidewassermengen am Sperrwerk

Springtide					
Rückhaltung [Std.]	Sielbreite [m]	max. Durchfluß [m <sup>3</sup> /s]		Tidewassermenge [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	
		Flut	Ebbe	$T_f$	$T_e$
ohne Einb.	Natur	4100	3200	48,13	48,63
ohne Rückh.	200	3580	2800	42,29	42,18
1,0	200	3540	4250	42,01	41,91
2,0	200	3420	4670	40,98	40,76
ohne Rückh.	160	3230	2670	40,02	40,04

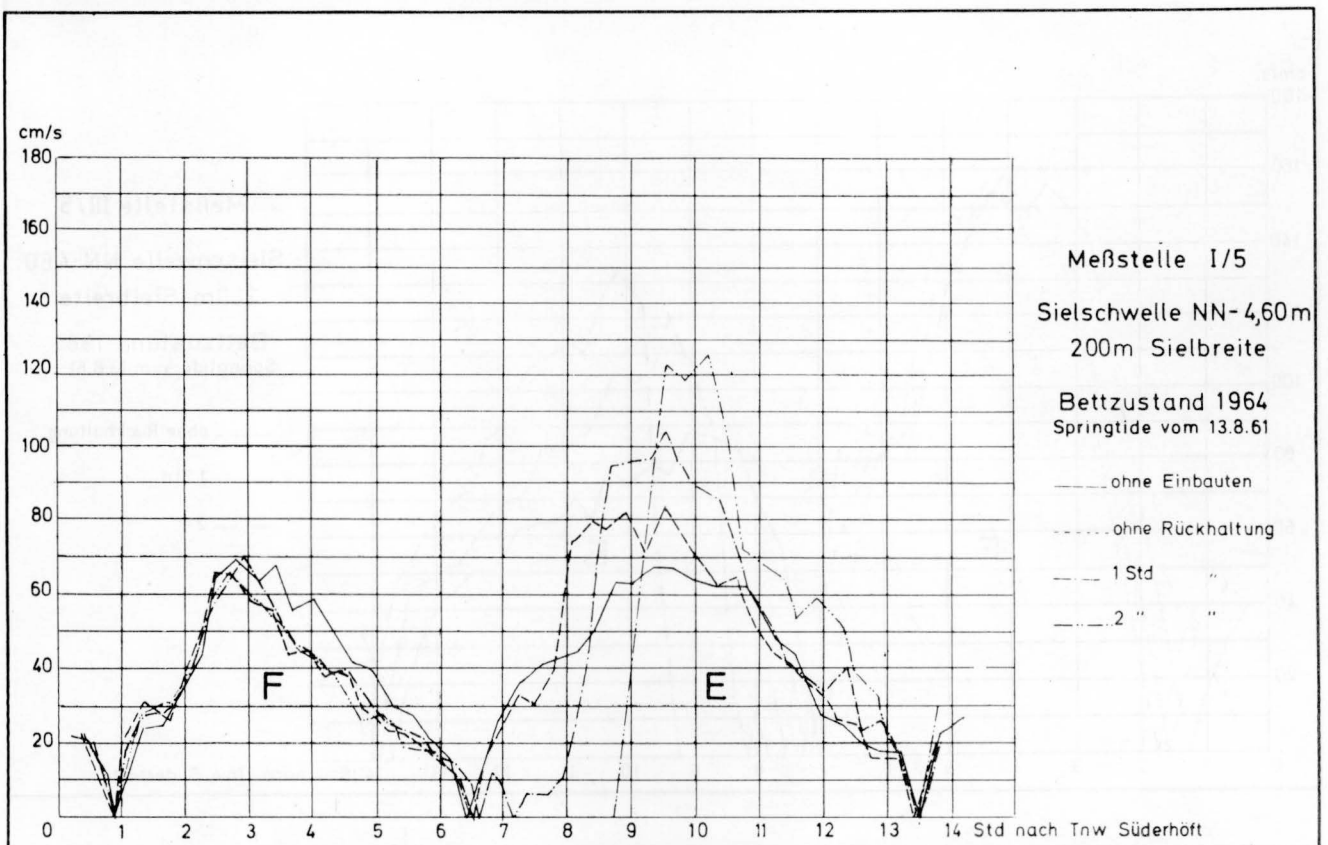


Abb. 22: Strömungsgeschwindigkeit bei verschiedenen Rückhaltung, I/5 (Sperrwerk T6)



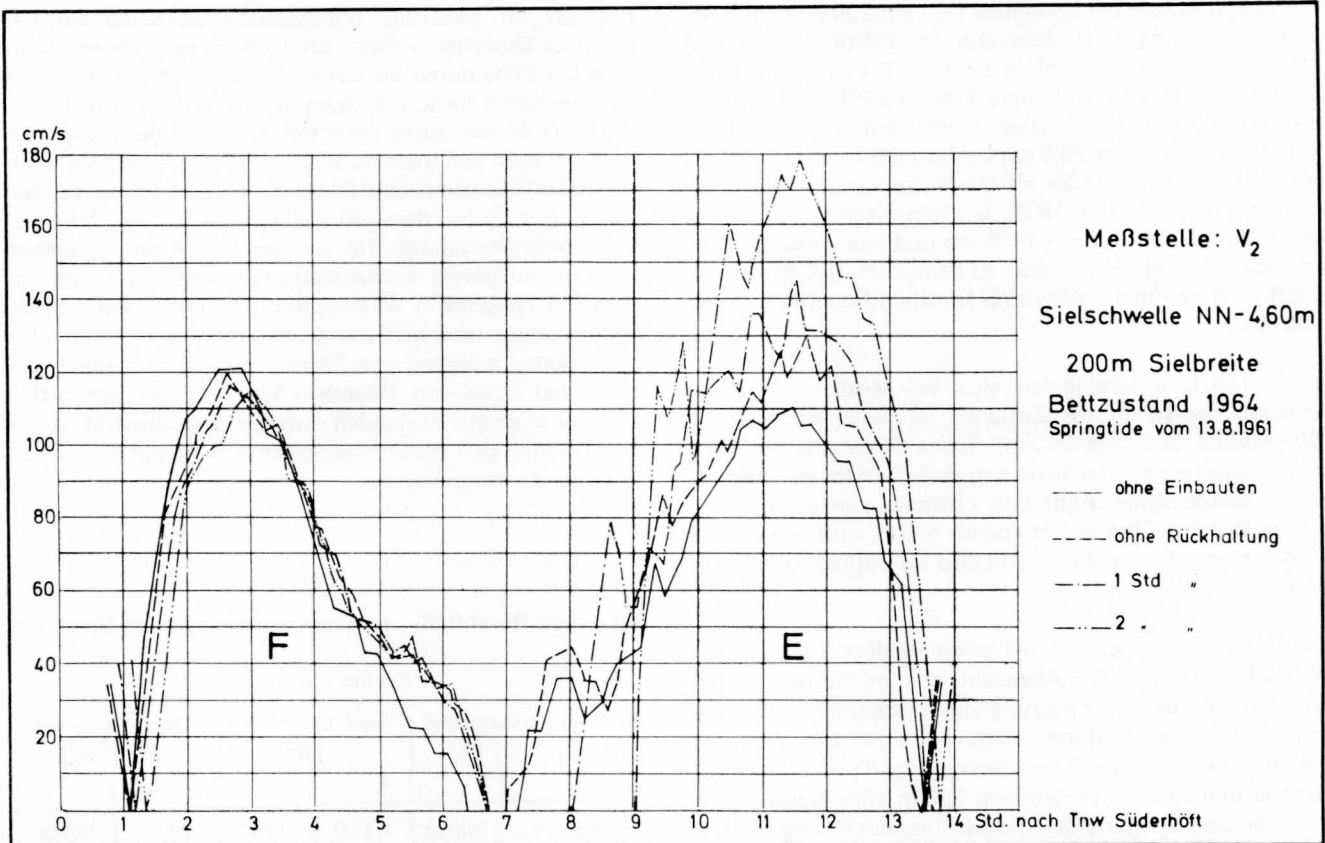


Abb. 23: Strömungsgeschwindigkeit bei verschiedenen Rückhaltung, V2 (Sperrwerk T6)

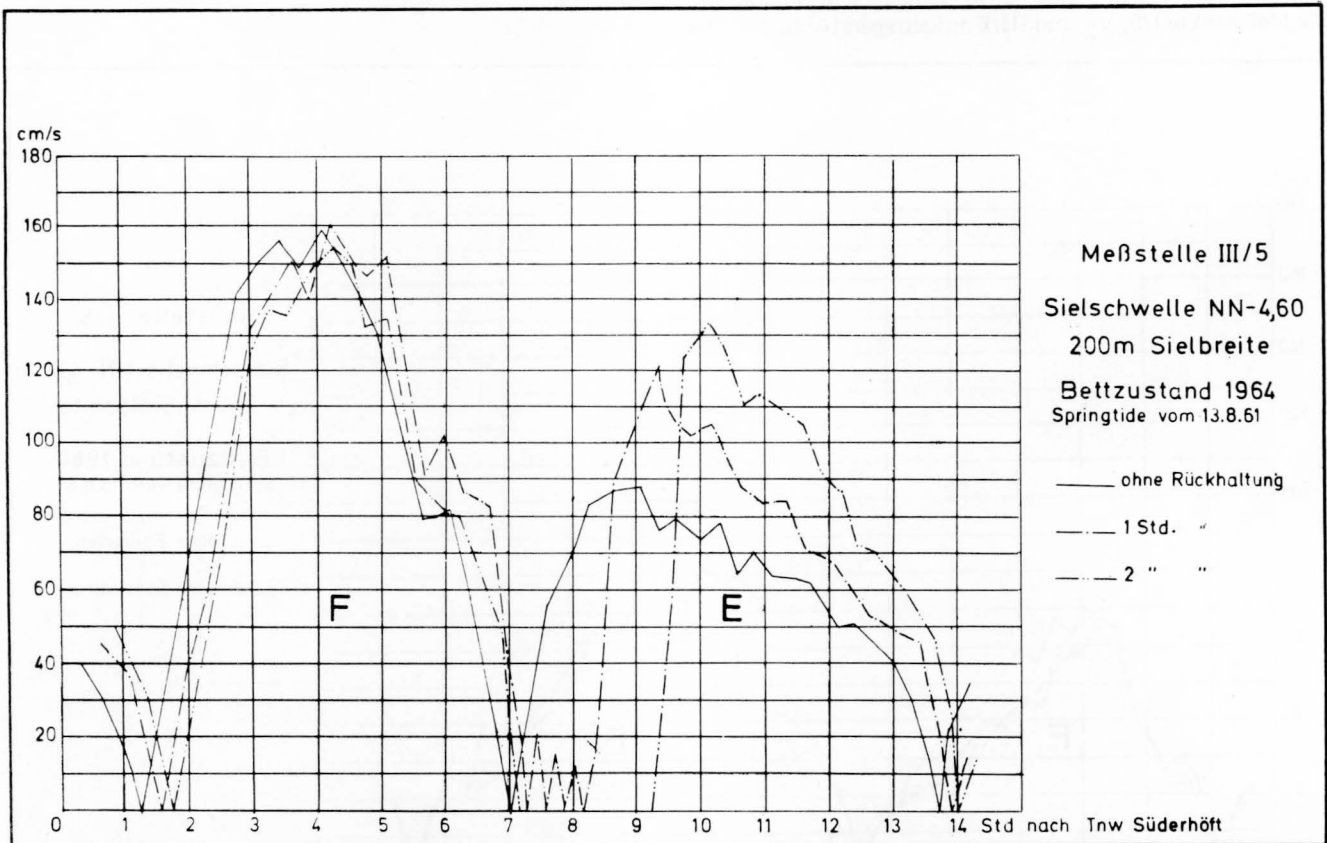


Abb. 24: Strömungsgeschwindigkeit bei verschiedenen Rückhaltung, III/5 (Sperrwerk T6)

Während jetzt der Flutstrom gebündelt durch die neue Rinne einströmt, verläuft der Ebbestrom in einem breiten Bett zwischen dem Südrand des Katinger Watts und dem Ufer bei Hundeknöll. Das Verhältnis der Ebbe- und Flutströmung oberhalb des Sperrwerks im Bereich des Meßquerschnitts III (Abb. 18,25,26) wird dadurch ungünstiger.

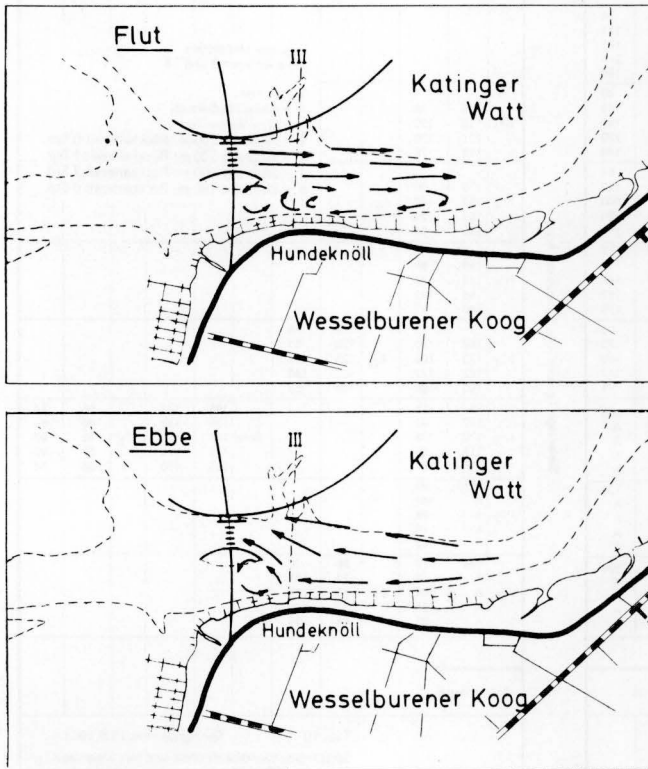


Abb. 25 - 26: Strömungsverhältnisse (Sperrwerk T6)

Tabelle 10 enthält eine Zusammenstellung der maximalen Geschwindigkeiten bei Flut und Ebbe (Springtide vom 13.8.61) für sämtliche Meßpunkte. Die Lage der Meßpunkte ist schematisch in Abb. 18 und 2 eingetragen.

Abb. 27 zeigt den näherungsweisen Verlauf der Abnahme der Spitzengeschwindigkeiten unterhalb des Wehres mit der Zunahme der Entfernung. Dabei müssen die nach oberhalb in den unmittelbaren Wehrbereich extrapolierten Werte über den dort nur ausgeführten Messungen bei Mittlerer

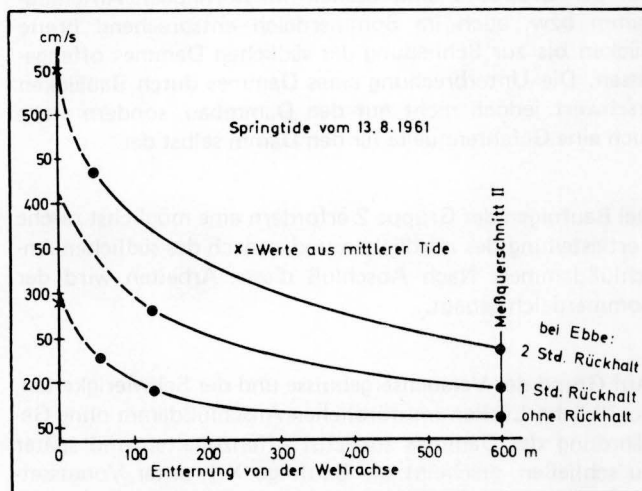


Abb. 27: Abnahme der Spitzengeschwindigkeiten unterhalb des Sielbauwerk T6 (200 m Durchflußöffnung)

Tide liegen. Bei der Lage T6 ergab sich im Prinzip die gleiche günstige Veränderung des Verhältnisses zwischen Ebbe- und Flutströmung wie bei T4.

Ein unmittelbarer Vergleich der Geschwindigkeitswerte der Versuche T6 mit denen von T4 ist nicht möglich, da mit unterschiedlicher Morphologie gearbeitet wurde. Es ist jedoch nicht anzunehmen, daß zwischen den Versuchen T6 und T4 im Großbereich der Eider entscheidende Unterschiede in den Wasserständen und Strömungsgeschwindigkeiten bei unmittelbarer Vergleichsmöglichkeit aufgetreten wären. Eine Wiederholung der Versuche für T4 mit der neuen Morphologie mußte aus Zeitmangel unterbleiben.

Zur besseren Deutung der globalen Strömungsverhältnisse im Sperrwerksbereich wurden zu verschiedenen Tidephasen Strömungsaufnahmen gemacht und Strömungsrichtungen sowie Geschwindigkeiten mittels intermittierender Belichtung von Oberflächenschwimmern gemessen. Die Strömungsaufnahmen zeigten, daß an der Vollerwiek-Plate sowohl vor Kopf als auch an den Flanken mit starken Angriffen gerechnet werden muß, die eine Umbildung der Plate zur Folge haben werden.

Neben der Überprüfung des zur Ausführung vorgesehenen Sperrwerks T6 im Endzustand war es von Bedeutung, im voraus zu wissen, mit welchen hydraulischen Eventualitäten während der mehrjährigen Bauzeit gerechnet werden mußte. Das Ziel der Untersuchungen sollte es ein, ein Programm für den Bauablauf aufzustellen das hinsichtlich der hydraulischen Zustände möglichst große Sicherheiten bietet. Es liegt in der Natur der Sache, daß sich bei einem derartigen Bauvorhaben eine Vielzahl von Möglichkeiten anbietet, deren Vor- und Nachteile überprüft werden mußten. Die Ergebnisse der Modellversuche sind in [9] enthalten.

Der Entschluß, das Kernstück der Sperrwerksanlage (Wehr und Schleuse) auf dem südlichen Teil des Katinger Watts zu bauen, verlangte als Lösung die Einrichtung einer Bauinsel. Diese Bauinsel sollte so bemessen sein, daß neben den bereits erwähnten Hauptbauteilen Wehr- und Schleuse auch die wesentlichen Abschnitte der Trennmolen und Leitwerke sowie der Sohlenbefestigung im Trockenem gebaut werden können.

Es war deshalb zunächst Aufgabe der Modellversuche, aus mehreren Bauinselvarianten eine geeignete Form auszusuchen, die sich neben der Anpassung an die morphologischen Verhältnisse des Katinger Watts auch hydraulisch als günstig erwies. Nach eingehenden Untersuchungen (besonders Geschwindigkeitsmessungen) wurde die auf Abb. 28 als Modellphoto dargestellte Inselvariante zur Ausführung bestimmt. Dabei waren seeseitig zwei Schutzbuhnen gegen Strömungsangriffe notwendig, binnenseitig wurde der Anlageplatz für die Baufahrzeuge ebenfalls durch Buhnen geschützt.

Nach Fixierung der Lage der Bauinsel sollte auf Grund weiterer Überlegungen und Versuche festgestellt werden, welche Baufolgen sich aus einzelnen Bauzuständen für die Herstellung der Anschlußdämme an das Sperrwerk als günstig erweisen. Bei diesen Überlegungen standen hydraulische Gesichtspunkte im Vordergrund. Wenn es jedoch aus meteorologischen, bautechnischen, arbeitstechnischen oder wirtschaftlichen Gründen erforderlich wird, lassen sich aus den im Modell untersuchten Baumaßnahmen weitere Baufolgen entwickeln.

Tabelle 10

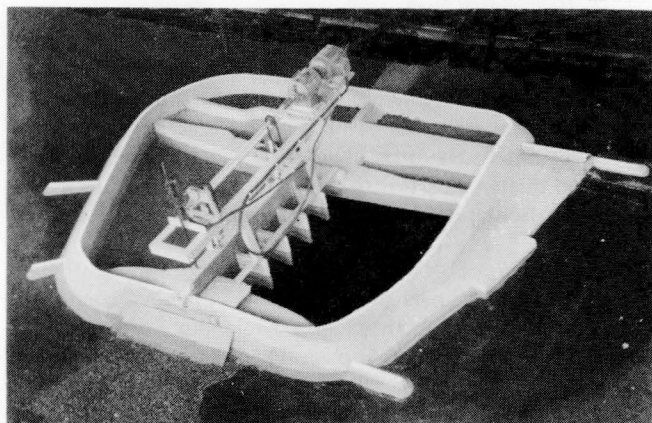
[illegible]

Abb. 28: Bauinsel

Die Baufolgen lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen:

1. Der Sommerdeich (Katinger Watt – Grüne Insel) wird **vor** der Schließung der Lücke (DS) im südlichen Anschlußdamm gebaut. (Baufolgen I – X)
2. Der Sommerdeich wird **nach** der Schließung des südlichen Anschlußdammes gebaut. (Baufolgen XI und XII)

Die Baufolgen der Gruppe 1 setzen voraus, daß die Schließung der Lücke im südlichen Anschlußdamm der schwierigste Bauabschnitt ist. Die Strömungsgeschwindigkeiten in dieser Lücke werden kleiner, wenn das Katinger Watt nicht nur von Süden her gefüllt werden muß.

Da später alle Tiden mit Hochwasserständen von mehr als 1 m über MThw gekehrt werden, soll der Sommerdeich nur eine Höhe von NN +3,00 m (1,34 m über MThw) erhalten. Während der mehrjährigen Bauzeit muß aber mit Sturm-tiden größer NN +3,00 m und damit einer Überströmung des Dammes gerechnet werden. Da das Katinger Watt dann innerhalb des nördlichen Anschlußdammes und des Sommerdeiches trocken liegt, ist zu erwarten, daß dieser Deich durch rückschreitende Erosion rasch zerstört wird. Das läßt sich weitgehend vermeiden, wenn das Katinger Watt gleichzeitig mit der Eiderrinne gefüllt wird. In sämtlichen Bau-folgen der Gruppe 1 sind deshalb im nördlichen Anschluß-damm bzw. auch im Sommerdeich entsprechend breite Lücken bis zur Schließung des südlichen Dammes offenge-lassen. Die Unterbrechung eines Dammes durch Baulücken erschwert jedoch nicht nur den Dammbau, sondern stellt auch eine Gefahrenquelle für den Damm selbst dar.

Die Baufolgen der Gruppe 2 erfordern eine möglichst rasche Fertigstellung des nördlichen und danach des südlichen Anschlußdammes. Nach Abschluß dieser Arbeiten wird der Sommerdeich gebaut.

Auf Grund der Versuchsergebnisse und der Schwierigkeiten, zusätzliche Lücken im nördlichen Anschlußdamm ohne Gefährdung des Dammes zunächst offenzuhalten und später zu schließen, erscheint die Baufolge XII, unter Voraussetzung einer raschen Fertigstellung der Anschlußdämme, als geeignet, d.h. der Sommerdeich wird erst nach Fertigstellung der gesamten Sperrwerksanlage gebaut.



Tabelle 11

Strömungsgeschwindigkeiten  
bei verschiedenen Bauzuständen und Tiden  
Meßquerschnitt Ds

Lage der Meßpunkte s. Abb. 2 und 18

Tide	Bauzustand	Ds2		Ds3		Ds4	
		V <sub>fmax</sub> V <sub>emax</sub> cm/s	V <sub>fm</sub> V <sub>em</sub> cm/s	V <sub>fmax</sub> V <sub>emax</sub> cm/s	V <sub>fm</sub> V <sub>em</sub> cm/s	V <sub>fmax</sub> V <sub>emax</sub> cm/s	V <sub>fm</sub> V <sub>em</sub> cm/s
Mittlere Tide	nur Bauinsel	114 134	71 84	126 142	79 80	135 135	81 87
	Bauinsel + 800 m Teilstück des ND	110 137	74 80	128 142	83 78	133 139	83 87
	Bauinsel + 1600 m Teilstück des ND + SD mit D <sub>s</sub> = 300 m	139 160	89 104	159 165	105 103	167 165	108 110
	Bauinsel + 2150 m Teilstück des ND + SD mit D <sub>s</sub> = 300 m	136 162	89 99	160 163	105 100	170 160	110 104
	Bauinsel abgeräumt, ND geschlossen + SD mit D <sub>s</sub> = 300 m, Siel geschlossen	147 188	106 115	158 177	112 116	167 173	121 112
	wie vor, jedoch mit So-D	115 146	84 89	138 161	99 94	147 148	104 98
	nur Bauinsel	176 174	120 116	201 183	134 111	204 168	122 106
	Bauinsel + 800 m Teilstück des ND	181 177	126 126	213 186	139 121	217 176	136 117
	Bauinsel + 1600 m Teilstück des ND + SD mit D <sub>s</sub> = 300 m	235 215	160 151	260 210	173 145	293 207	182 139
	Bauinsel + 2150 m Teilstück des ND + SD mit D <sub>s</sub> = 300 m	246 238	173 162	276 225	186 155	311 240	201 145
Sturm- tide	Bauinsel abgeräumt, ND geschlossen + SD mit D <sub>s</sub> = 300 m, Siel geschlossen	352 284	236 226	385 254	250 198	410 272	266 203
	wie vor, jedoch mit So-D	271 244	185 182	325 240	208 180	306 246	218 170

Erklärungen der Abkürzungen:

ND = nördl. Anschlußdamm

SD = südl. Anschlußdamm

So-D = Sommerdeich a.d. Katinger Watt

D<sub>s</sub> = Lücke im südl. AnschlußdammL<sub>III</sub> = Lücke im nördl. Anschlußdamm (Katingerpiel)

Der Abfluß Katingsiel soll über einen neuen Verbindungs-  
kanal durch ein Deichsiel im Sommerdeich in die Fahrinne  
geleitet werden (Abb. 29).

Die Schließung der Lücke DS im südlichen Anschlußdamm  
kann als schwierigster Bauabschnitt angesehen werden. Es  
wurden deshalb in dieser Lücke sowohl für verschiedene  
Bauabschnitte der Gesamtanlage als auch für den Verbau  
der Lücke selbst im Modell sorgfältige Geschwindigkeits-  
messungen ausgeführt. Dabei wurden die Verhältnisse varia-  
bel bei Mittlerer Tide, Springtide und Sturm-  
tide untersucht.

Die Hauptsturm-  
tide erreicht einen Scheitelwert von  
PN 8,55 m oder NN 3,55 m.

Die Abb. 30 und 31 enthalten die in Lückenmitte (DS<sub>3</sub>)  
gemessenen Geschwindigkeiten bei Mittlerer Tide und bei  
Sturm-  
tide für verschiedene Bauabschnitte. Es wird jedoch  
darauf aufmerksam gemacht, daß sich nicht alle überhaupt  
möglichen Bauabschnitte in das Schema [9] einordnen las-  
sen. Man erkennt auf Abb. 31 deutlich den Einfluß der  
Flutraumverringerng durch Eindeichung des Katinger  
Watts beim Vergleich der Kurven a und b. Bei Fall b treten  
die größten Geschwindigkeiten auf. Die Wehranlage ist da-  
bei geschlossen.

Tab. 11 enthält eine Zusammenstellung sämtlicher in der  
Lücke DS gemessenen Einzelwerte.

Bei der Schließung der Lücke selbst muß jedoch vorausge-  
setzt werden, daß die Wehranlage funktionsfähig ist und  
durch ihre entlastende Wirkung den Schließvorgang des  
südlichen Dammes unterstützt.

Tabelle 12

Strömungsgeschwindigkeiten  
bei verschiedenen Bauzuständen und Tiden  
Meßquerschnitt Ds

Lage der Meßpunkte s. Abb. 2 und 18

Tide	Bauzustand	Ds2		Ds3		Ds4	
		V <sub>fmax</sub> V <sub>emax</sub> cm/s	V <sub>fm</sub> V <sub>em</sub> cm/s	V <sub>fmax</sub> V <sub>emax</sub> cm/s	V <sub>fm</sub> V <sub>em</sub> cm/s	V <sub>fmax</sub> V <sub>emax</sub> cm/s	V <sub>fm</sub> V <sub>em</sub> cm/s
Sturm- tide	ND mit L <sub>III</sub> = 300 m + SD mit D <sub>s</sub> = 300 m + So-D, H = -6,50 m NN, Siel geöffnet			221 209	148 120		
	wie vor, jedoch ND geschlossen (ohne L <sub>III</sub> )			230 220	152 122		
	ND + SD mit D <sub>s</sub> = 300 m + So-D, H = -3,50 m NN, Siel geöffnet			240 254	157 158		
	ND + SD mit D <sub>s</sub> = 300 m + So-D, H = -6,50 m NN, Siel geschlossen	325 254		353 254	210 156	302 252	
Spring- tide	ND + SD mit D <sub>s</sub> = 300 m + So-D, Siel geöffnet, H = -6,50 m NN	118 79	70 58	121 88	78 64	122 76	80 54
	wie vor, jedoch H = -5,00 m NN	127 93	82 68	137 103	88 72	131 90	90 65
	wie vor, jedoch H = -3,50 m NN	139 120		149 129		156 128	
	wie vor, jedoch H = -2,00 m NN	174 150		184 153		190 160	

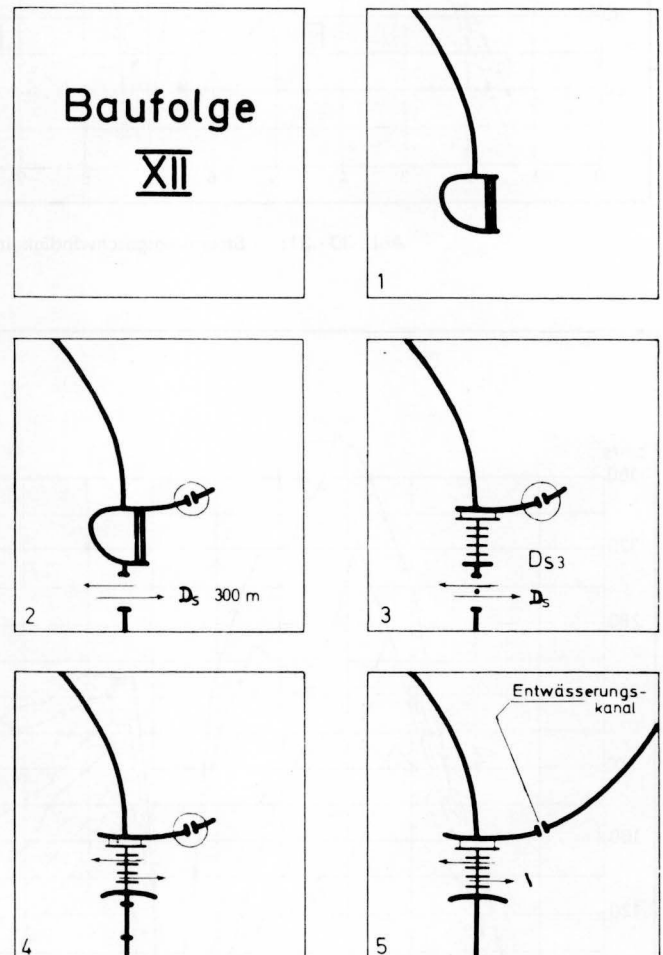
H = Höhe des Dammes innerhalb der Dammschlußlücke D<sub>s</sub>.

Abb. 29: Baufolge XII

Den hydraulischen Messungen für verschiedene Schließpha-  
sen der Lücke DS im südlichen Anschlußdamm wurde maß-  
gebend die Springtide zugrundegelegt, da diese Arbeiten in  
einer Jahreszeit ausgeführt werden müssen, in der allgemein  
nicht mit Sturmfluten zu rechnen ist.

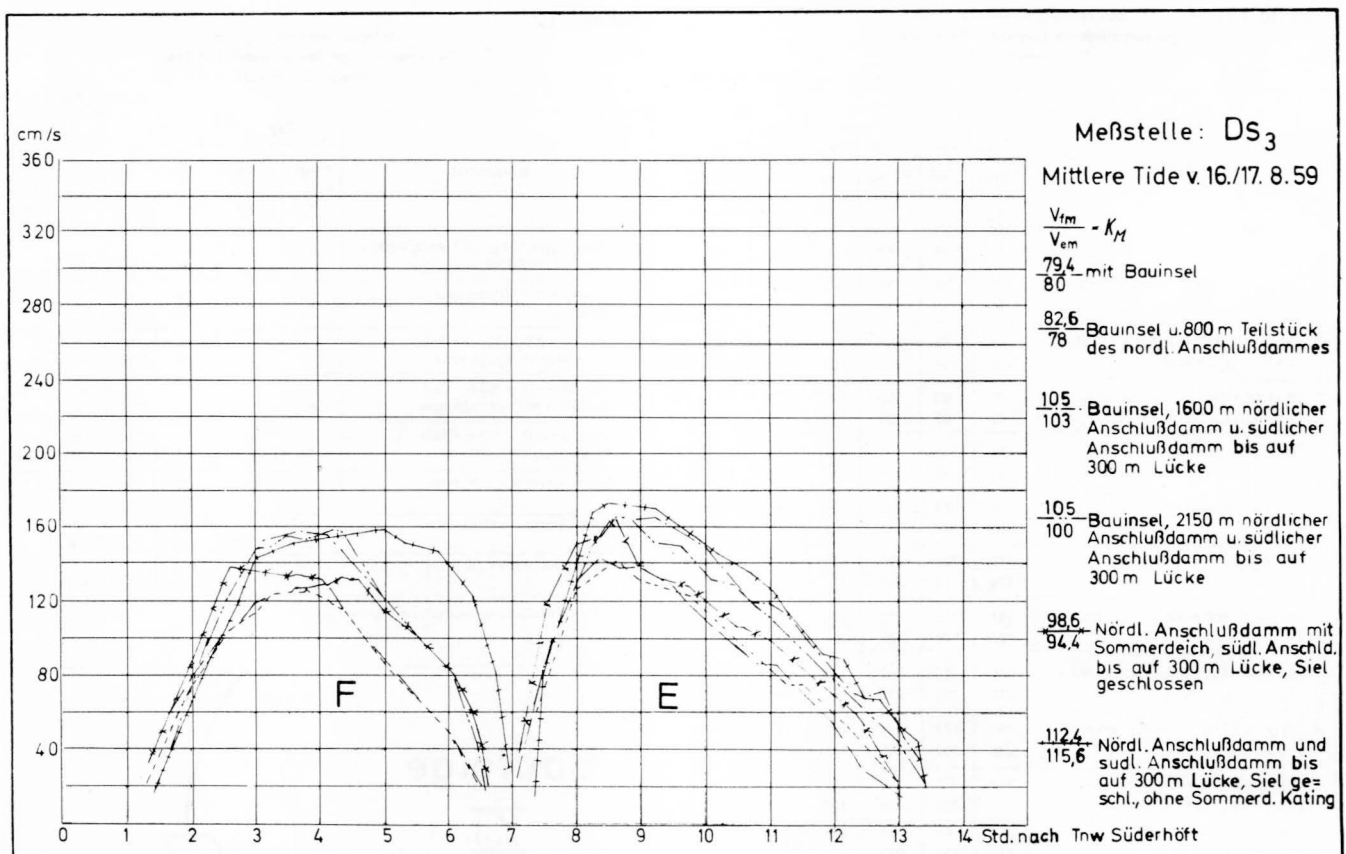
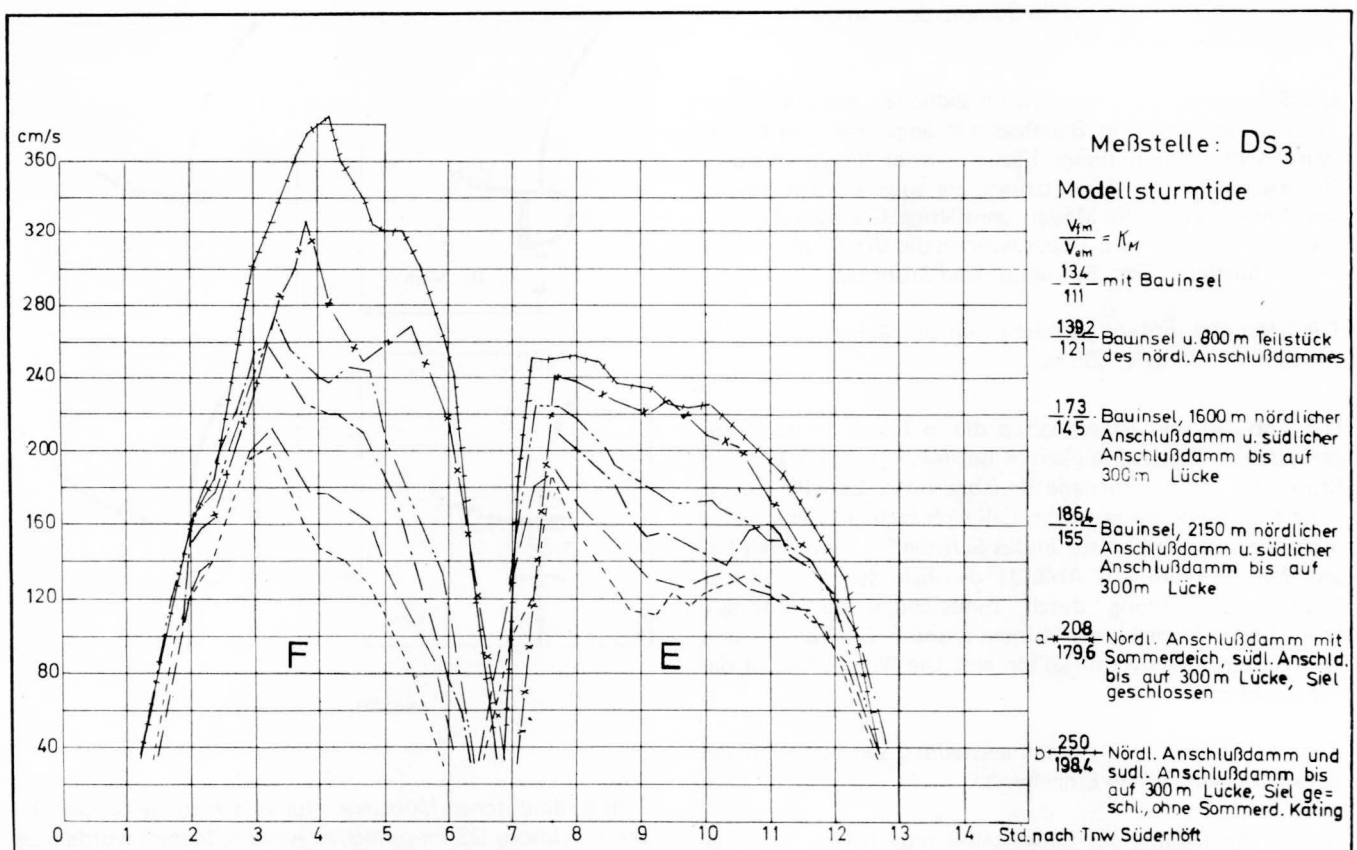


Abb. 30 - 31: Strömungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Bauzuständen (Sperrwerk T6)



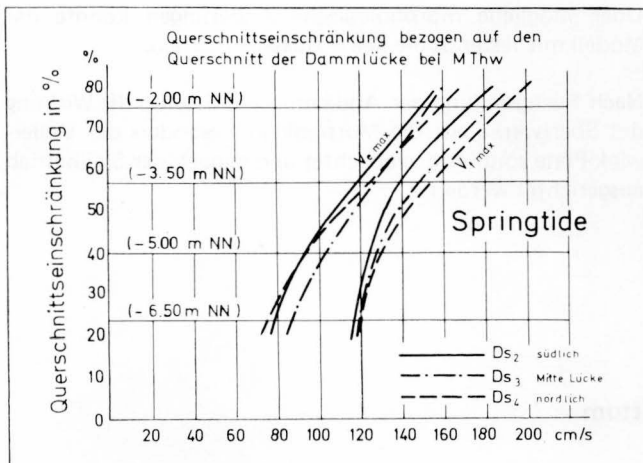


Abb. 32: maximale Fließgeschwindigkeiten beim Verbau der Lücke im südlichen Anschlußdamm

## 5. Abschließende Betrachtung

Die Bundesanstalt für Wasserbau – Außenstelle Küste – hat, zunächst beauftragt vom Wasser- und Schiffsamt Tönning, später vom Neubauamt Heide, in den Jahren 1960 bis 1967 an einem Tidemodell der Eider (Maßstäbe: Längen 1:250, Höhen 1:50) in Hamburg-Rissen umfangreiche Untersuchungen vorgenommen, um Maßnahmen gegen die durch die Abdämmung bei Nordfeld (1936) hervorgerufenen hydrologischen und morphologischen Verschlechterungen im Tideregime der Eider zu finden. Die Ergebnisse der Modellversuche wurden in 7 Einzelberichten ausführlich beschrieben und diskutiert. Sie werden nachstehend kurz zusammengefaßt:

Eine Beseitigung der vollständigen Abdämmung Nordfeld oder ihre Umwandlung in ein Sturmflutsperrwerk ist bei den derzeitigen morphologischen Verhältnissen in der Eider nicht möglich, da die Querschnitte durch die Versandung nicht genügend leistungsfähig sind, um den Flutraum oberhalb der verlandeten Strecke zu füllen. Die Herstellung eines durch Versuche und durch Rechnung ermittelten Regelquerschnitts würde die Beseitigung von mindestens  $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  Sand aus dem Flußbett erforderlich machen.

Die daraus gezogenen Konsequenzen machen auch die Lösungen "Verstärkter Oberwasserabfluß" und "Flutpolder" (3.3) unmöglich.

Die untersuchten Vollabdämmungen unterhalb Nordfeld würden unterhalb dieser neuen Abdämmung ähnliche Verhältnisse hervorrufen, wie sie durch die Sielanlage Nordfeld entstanden sind (Abb. 6).

Es wurde deshalb der Gedanke geprüft, ein Sperrwerk an einer günstigen Stelle nicht nur zum Sturmflutschutz, sondern auch zur Beeinflussung normaler Tiden anzuordnen, mit dem Zweck, die Sandeintreibungen zu verringern und eventuell eine allmähliche Ausräumung zu erzeugen.

Die Versuche mit dem Sperrwerk T2 (km 100,7) zeigten, daß es grundsätzlich möglich ist, den Tideablauf in der Eider durch geeigneten Betrieb des Sperrwerks weitgehend zu beeinflussen. Das Verhältnis Ebbe- zur Flutströmung kann verbessert werden, indem der Flutstrom durch Ver-

Auf Abb. 32 ist als Beispiel für eine mögliche Endphase (Sommerdeich bereits geschlossen) die Zunahme der Fließgeschwindigkeiten in drei Meßpunkten in der Dammlücke beim allmählichen Verbau von der Sohle her zu erkennen.

Tabelle 12 enthält eine Zusammenstellung der in Abb. 32 graphisch dargestellten Einzelwerte bei Springtide, sowie die dazugehörigen bei  $DS_3$  gemessenen Werte bei Sturm- tide.

kleinern der Durchflußöffnungen gedrosselt und der Ebbestrom durch zeitweise Zurückhalten der Tidewassermenge oberhalb des Sperrwerks verstärkt wird (Abb. 8).

Durch schrittweise Weiterentwicklung wurde schließlich in der Linienführung T4 (km 10 9,4) eine Optimallage gefunden, bei der durch nur 4,8 km Abdämmungsstrecke sowohl die 1. Deichlinie um 57,5 km verkürzt wird als auch eine günstige Spülwirkung und damit Verbesserung der Strömungsverhältnisse im Außentief erzeugt werden.

Fünf Öffnungen von je 40 m Durchflußbreite erwiesen sich als hydraulisch und wirtschaftlich optimal, um nahezu die gesamte Wassermenge einer unbeeinflussten Tide in die Eider einströmen zu lassen, Rückhaltezeiten bis zu 2 Std. ergaben hinsichtlich der Spülwirkung und Vorflut bei Friedrichstadt und Nordfeld günstige Ergebnisse (Abb. 10, 12, 14, 15, 16).

Um den Sperrwerksbetrieb nicht zu kompliziert zu gestalten, wurde auf die Drosselung der Flut verzichtet. Nur durch Schließen des Sperrwerks nach Thw wird die Ebbe zunächst zurückgehalten und bei Wiederöffnung mit verstärktem Gefälle und verstärkter Räumkraft zur See hin abgeleitet. Mit diesem Spülbetrieb läßt sich ein steilerer Verlauf im Ebbeast der Tidekurven oberhalb und unterhalb des Sperrwerks erreichen, etwa dem aufgesteigten ersten Drittel des Flutastes gleichwertig, der durch hohe Fließgeschwindigkeiten und starke Tubulenz die Versandung der Eider im wesentlichen hervorgerufen hat [19].

Die Anströmungsverhältnisse (Querströmungen) der Wehranlage bei Ebbe mußten mit einer Teileindeichung des Katinger Watts verbessert werden.

Aus bautechnischen Gründen erschien es vorteilhafter, die Wehranlage (T6, km 109,9) auf dem Südrand des Katinger Watts in einer Bauinsel zu errichten. Bei der Bemessung wurden die Erfahrungen mit T4 verwendet. Die lichte Durchflußbreite beträgt 200 m, die An- und Abströmungsverhältnisse konnten durch Leitdämme gut gelöst werden.

Um gegen hydraulische Eventualitäten während des Bauablaufes gesichert zu sein, mußte ein geeignetes Bauprogramm

für das Sperrwerk T6 entwickelt werden. Obgleich sich während der Bauzeit mehr oder weniger große Sohlumlagerungen ausbilden werden, konnten im Modell mit fester Sohle nur die hydraulischen Kennwerte der einzelnen Bauabschnitte bestimmt werden.

Die Baufolge XII (Abb. 29) erscheint günstig, wenn auch zu bedenken gegeben wird, daß die Flutraumverringering durch Eindeichung des Katinger Watts (Sommerdeich) eine Verringerung der Fließgeschwindigkeiten bei schwierigem Lückenschluß im südlichen Anschlußdamm bewirkt.

Über mögliche morphologische Änderungen konnte das Modell mit fester Sohle keine Aussage machen.

Nach Fertigstellung der Abdämmung T6 sollte die Wirkung des Sperrwerks auf die Morphologie besonders der Vollerwiek-Plate sorgfältig beobachtet und danach der Spülbetrieb ausgerichtet werden.

## 6. Schrifttum

- |      |                                    |   |
|------|------------------------------------|---|
| [ 1] | Bundesanstalt für Wasserbau (AK) : | Modellversuche für die untere Eider, Spülversuche mit und ohne Regulierung 1953 (unveröffentlicht)  |
| [ 2] | Bundesanstalt für Wasserbau (AK) : | Zwischenbericht über die Versuche für die Abdämmung der Eider unterhalb von Nordfeld<br>1. Zwischenbericht – März 1962 – (unveröffentlicht)   |
| [ 3] | Bundesanstalt für Wasserbau (AK) : | Versuche für die Abdämmung der Eider unterhalb von Nordfeld bei Sturmflut<br>2. Zwischenbericht – Juli 1962 – (unveröffentlicht)  |
| [ 4] | Bundesanstalt für Wasserbau (AK) : | Versuche mit einer Tidesteuerungsanlage<br>3. Zwischenbericht – Juli 1962 – (unveröffentlicht)  |
| [ 5] | Bundesanstalt für Wasserbau (AK) : | Versuche für verschiedene Zustände der Eider nach Beseitigung der Abdämmung Nordfeld<br>Versuche mit Tidesteuerungsanlage im Bettzustand IV<br>4. Zwischenbericht – April 1963 – (unveröffentlicht) |
| [ 6] | Bundesanstalt für Wasserbau (AK) : | Versuche mit Sturmflutsperrwerk T3<br>5. Zwischenbericht – November 1963 – (unveröffentlicht)   |
| [ 7] | Bundesanstalt für Wasserbau (AK) : | Versuche für die Abdämmung Hundeknöll – Vollerwiek mit Sielbauwerk T4<br>6. Zwischenbericht – März 1966 – (unveröffentlicht)  |
| [ 8] | Bundesanstalt für Wasserbau (AK) : | Versuche für die Abdämmung Hundeknöll – Vollerwiek mit Sielbauwerken T5 und T6<br>7. Zwischenbericht Teil A – Sept. 1967 – (unveröffentlicht)   |
| [ 9] | Bundesanstalt für Wasserbau (AK) : | Versuche für die Abdämmung Hundeknöll – Vollerwiek mit verschiedenen Bauzuständen<br>7. Zwischenbericht Teil B – Sept. 1968 – (unveröffentlicht)  |
| [10] | Bundesanstalt für Wasserbau (AK) : | Tiderechnung für die Eider: Vollabdämmung unterhalb Nordfeld<br>– Februar 1962 – (unveröffentlicht)   |
| [11] | Bundesanstalt für Wasserbau (AK) : | Tidewellenrechnung für die Eider; Regelquerschnitt III<br>– April 1963 – (unveröffentlicht)   |
| [12] | Dietz, J.W.:                       | Abdämmung der Eider; Modellversuche für das Sielbauwerk<br>Mitteilungsblatt der BAW, Heft 30  |
| [13] | Dillo, H.G.:                       | Sandwanderung in Tideflüssen<br>Mitteilungen des Franzius-Instituts, Heft 7, 1960   |
| [14] | Franzius-Institut :                | Modellversuche für die Außeneider<br>Bericht 1, 2 und 3 1964 und 1965 (unveröffentlicht)  |

- [15] Küstenausschuß Nord- und Ostsee : Gutachten über die Vorschläge zur Behebung der Schwierigkeiten in der Eider  
Die Küste 1964
- [16] Lorenzen, J.M.: Zur Lösung des Eiderproblems  
Die Küste 1966, Heft 1
- [17] Mannsdorf Gutachten zu dem Vorentwurf Abschließung der Eider bei Tönning  
25.1.1924 (unveröffentlicht)
- [18] Rohde, H.: Die Kornzusammensetzung der Wattsande zwischen Elbe und Eider  
Die Wasserwirtschaft 1963, Heft 1
- [19] Rohde, H. und Timon, A.: Die Versandung der Eider. Weiterführung der Untersuchungen und künstlicher Spülbetrieb  
Die Wasserwirtschaft 1969, Heft 6 u. 8
- [20] Rohde, H. und Timon, A.: Die Vorarbeiten zur Lösung des Eiderproblems  
Die Wasserwirtschaft 1967, Heft 5
- [21] Rohde, H. und Sindern, J.: Zur Vorgeschichte der Abdämmung der Eider in der Linie Vollerwiek – Hundeknöll  
Die Wasserwirtschaft 1970, Heft 3
- [22] Sindern, J.: Die Eider und ihre Probleme  
Wasserjahrbuch 1969
- [23] Wittmer, H.G.: Tideänderungen durch Einbauten in Tideflüssen  
Mitteilungen des Franzius-Instituts Nr. 13, 1958



